

**Über das Blutstromvolumen der Hand
bei Gesunden und Kranken mit Raynaud-Syndrom
unter Einwirkung verschiedener Temperaturen**

Peter Osthoff

1965

Aus der Poliklinik der Universität München

Direktor: Professor Dr. Walter SEITZ

ÜBER DAS BLUTSTROMVOLUMEN DER HAND
BEI GESUNDEN UND KRANKEN MIT RAYNAUD-SYNDROM
UNTER EINWIRKUNG VERSCHIEDENER TEMPERATUREN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Peter Osthoff

aus

München

München

1966

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. H. HESS
Mitberichterstatter: Prof. Dr. W. SEITZ
Dekan: Prof. Dr. R. ZENKER
Tag der mündlichen Prüfung: 21. 12. 1965



MEINEM VATER
UND MEINER VERSTORBENEN MUTTER
IN DANKBARKEIT GEWIDMET

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. Einleitung	1
B. Methodik	5
I. Allgemeiner Teil	5
1. Das methodische Prinzip	5
2. Konstruktion des Plethysmographen	6
3. Prüfung des Plethysmographen	8
4. Die ein Plethysmogramm bestimmenden Faktoren	9
II. Spezieller Teil	11
1. Der Plethysmograph	11
2. Die Übertragung der Volumenschwankungen	12
3. Versuchsdurchführung	12
4. Eichung des Systems	13
5. Bestimmung des Handvolumens	14
6. Störungen des Plethysmogramms	16
7. Einfluß der Temperatur im Plethysmographen auf die Durchblutung und das Plethysmogramm	16
8. Das normale Handplethysmogramm	17
C. Meßergebnisse	19
I. Versuchsreihe über 3 Minuten	23
1. Das Ruheblutstromvolumen bei 32 Grad	23
2. Die Wärmehyperämie bei 42 Grad	24
3. Die Kälteischämie bei 12 Grad	25

	Seite
II. Versuchsreihe über 30 Minuten	27
1. Das Ruheblutstromvolumen bei 32 Grad	29
2. Die Wärmehyperämie bei 42 Grad	32
3. Die Kälteischämie bei 12 Grad	34
D. Besprechung	39
I. Versuchsreihe über 3 Minuten	43
II. Versuchsreihe über 30 Minuten	44
III. Zusammenfassender Vergleich zwischen Gefäßgesunden und Raynaud-Kranken	48
E. Zusammenfassung	50

Literaturverzeichnis

A. EINLEITUNG

In seiner Inaugural-Dissertation (20) "Sur l'asphyxie locale et de la gangrène symétrique des extrémités" beschreibt der Pariser Arzt und Neurologe Maurice Raynaud ein Krankheitsbild, über das schon vor ihm mehrere Autoren (17) berichtet haben. Sein Verdienst ist es, diese Berichte zusammengefaßt und unter dem Aspekt der vasomotorisch bedingten Mangel durchblutung betrachtet zu haben. Bei dem nach ihm benannten Morbus Raynaud handelt es sich um eine Erkrankung, die durch anfallsweise Gefäßkrämpfe meist an den Arterien der Finger gekennzeichnet ist. Bei dem stets rasch abklingenden Anfall kommt es zu Blässe (selten Cyanose), starken Schmerzen, Kälte und Taubheitsgefühl an den Endabschnitten der Finger (digiti mortui).

Während man sich heute über das klinische Erscheinungsbild einig ist, gehen über die Ätiologie die Meinungen auseinander. Holle-Sonntag (13) und Wolf (29) machen entzündliche Prozesse in den Grenzstrangganglien des Nervus sympathicus und eine damit verbundene Innervationsstörung der Gefäße verantwortlich, Hamperl (10), Schoop (24) und andere lassen diese Frage offen. Bezüglich der Steuerung der Durchblutung der Muskeln einerseits und der Haut andererseits konnten Rein (21), Dornhorst und Whelan (7) sowie Schoop und Marx (25) durch verschiedene Methoden feststellen, daß die Muskeldurchblutung vorwiegend durch Stoffwechselprodukte, d. h. über lokal-chemische Reize und nicht über einen nervalen Tonus der Muskelgefäße reguliert wird. Im Gegensatz dazu werden die Hautgefäße, vor allem an der Hand, wie Untersuchungen von Lynn und Barcroft (16) sowie Aschoff (3) gezeigt haben, fast ausschließlich nerval gesteuert. Die Richtigkeit dieser Feststellungen beweisen Messungen und Beobachtungen, nach denen die Hautdurchblutung bei höherer Temperatur oder Sympathicusblockade stark zunimmt, während sich die Muskeldurchblutung von Temperatur oder Sympathicusblockade kaum beeinflussen läßt, wohl aber durch Stoffwechselprodukte, wie sie bei Muskelarbeit entstehen und vor allem dann in größerer Menge im Muskel auftreten, wenn der arterielle Zu- und der venöse Abfluß unterbunden werden. Die unterschiedliche Durchblutungssteuerung von Haut und Muskel wird um so mehr verständlich, als die Durchblutung dieser beiden Systeme verschiedenen Zwecken dient, die eine vorwiegend der Temperaturregelung, die andere der Aufrechterhaltung eines

Energiepotentials, das für die Funktionsfähigkeit des Muskels notwendig ist. Diesen unterschiedlichen Aufgabenbereichen entspricht also auch eine verschiedene, voneinander unabhängige Durchblutungsregulation. Hess (12) stellt abschließend dazu fest: "Die Hautgefäße unterliegen also in der Ruhe und unter indifferenten Temperaturen einem starken sympathischen, vaso-konstriktorischen Tonus" und weiter: "Nach alldem spielt also der vasomotorische Tonus der Muskelgefäße bei Tier und Mensch eine untergeordnete Rolle."

Aus der Betrachtung dieser Feststellungen könnte man also, da es sich beim Morbus Raynaud um eine Störung der Fingerdurchblutung handelt, annehmen, daß eine Innervationsstörung als Ursache in Frage käme. Das wäre um so mehr verständlich, als sich aus dem Größenverhältnis der Durchblutung von Haut einerseits und Knochen und Muskel andererseits an den Fingern erkennen läßt, daß es sich bei der Digitaldurchblutung in erster Linie um eine Hautdurchblutung handelt. Die Theorie einer Innervationsstörung beim Morbus Raynaud stützt sich außerdem auf Operationspräparate und Obduktionsbefunde, nach denen sich bei Patienten mit Gefäßerkrankungen entzündliche Veränderungen im Sympathikus-Grenzstrang fanden (5, 11, 27). Gegen die Richtigkeit und Zuverlässigkeit dieser Vermutung spricht jedoch die Tatsache, daß sich die gleichen Befunde auch bei nicht gefäßerkrankten Patienten machen lassen (28, 19), und es weiterhin nicht möglich ist, den genauen Beginn solcher Grenzstrangveränderungen und damit eine zeitliche Zuordnung zum Auftreten von Raynaud-Symptomen nachträglich festzulegen. Außerdem lehrt die Erfahrung, daß sich der Morbus Raynaud zwar kurzfristig mit einer Entfernung des Ganglion stellatum und des zweiten und dritten Thorakalganglions therapeutisch beeinflussen läßt, daß dieser Effekt aber nur kurze Zeit anhält und sich dann der ursprüngliche Zustand wieder einstellt (4, 14). Die Frage, ob es sich dabei um eine Regeneration des sympathischen Grenzstranges handelt, wird zwar diskutiert, ist aber nie anatomisch belegt worden. Die Feststellung einer eindeutigen Ätiologie erschwert weiterhin die Tatsache, daß bei unserem Krankengut immer schon zu Beginn der Anfälle Wandveränderungen der Gefäße im Sinne von Stenosen im Arteriogramm festgestellt werden konnten.

So stehen also bezüglich der Ätiologie und Pathogenese des Morbus Raynaud zwei Theorien zur Diskussion:

1. Der Morbus Raynaud stellt eine primäre, funktionelle Störung der Digi-

taldurchblutung auf neuraler Basis mit eventuell sekundären, organischen Veränderungen der Gefäßwand dar.

2. Der Morbus Raynaud wird als eine primäre Schädigung der Gefäßwand mit all ihren Begleiterscheinungen (Thromben, Stenosen etc.) definiert, als ein organischer Prozeß also, wie er von anderen Erkrankungen, z. B. der Endangitis obliterans, bekannt ist.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Arbeit, zu prüfen, ob und inwieweit die Durchblutungsgrößen der Gesunden und Raynaud-Kranken differieren, um daraus Schlüsse zu ziehen, die hinsichtlich der Pathogenese eine der beiden Theorien untermauern könnten.

Zur Untersuchung der Durchblutung bediente man sich außer der Palpation des Arterienpulses, die aber nur in sehr beschränktem Maße eine Beurteilung der Verhältnisse zuläßt, verschiedener Methoden:

1. Oszillographie

Hierbei werden die pulsatorischen Schwankungen mittlerer und größerer Arterien, nicht jedoch die Durchblutungsverhältnisse im Endstrombahnbereich erfaßt. Außerdem gestattet diese Methode nur eine seitenvergleichen- de Beurteilung der Extremitätendurchblutung, ohne quantitative Angaben über das Stromvolumen zu geben.

2. Die Hautthermometrie versucht aus den Temperaturschwankungen Rückschlüsse auf die Durchblutung zu ziehen. Sie liefert jedoch ebenfalls nur qualitative Vergleichsergebnisse verschiedener Gefäßareale. Zudem können die Messungen in sehr starkem Maße von Faktoren wie Raumtemperatur und Geometrie des Meßbezirkes etc. beeinflußt werden und liefern daher nur ungenaue Ergebnisse.

3. Die Rheographie setzt den elektrischen Widerstand des Gewebes, der abhängig ist von der Blutfülle, in Beziehung zur Durchblutung. Dabei ergeben sich ziemlich genaue Ergebnisse, die Methode ist jedoch nur zu Untersuchungen, die nicht zwischen Haut- und Muskeldurchblutung zu unterscheiden brauchen, tauglich.

4. Die Messung der Wärmeleitfähigkeit basiert auf der Überlegung, daß der Transport von Wärme durch Konvektion mit dem Blutstrom

erfolgt. Die Methode gestattet qualitative und quantitative Untersuchungen, jedoch nur in sehr kleinen Bezirken, da hierbei die Temperaturdifferenz zwischen einer auf eine bestimmte Temperatur aufgeheizten und einer Meß-Sonde bestimmt wird und daher die Genauigkeit der Messungen vom Abstand dieser beiden Sonden abhängig ist.

5. Die Venenstauungsplethysmographie. Hierbei werden die gesamten Volumenänderungen des untersuchten Objekts erfaßt und daraus quantitative Rückschlüsse auf die Durchblutung gezogen. Die Methode hat den Vorteil, nicht auf kleinere Meßbezirke beschränkt zu sein, sie gestattet jedoch auch keine getrennte Aufzeichnung von Haut- und Muskeldurchblutung. Die Messungen können mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden.

Für unsere Untersuchungen bedienten wir uns dieser Methode, da sie sich nach entsprechenden Vorversuchen als genügend empfindlich erwiesen hatte. Die Unmöglichkeit einer getrennten Erfassung von Haut- und Muskeldurchblutung stellte für unsere Untersuchungen kein Hindernis dar, da es sich, wie oben erwähnt, bei der Fingerdurchblutung vorwiegend um eine Durchblutung der Haut handelt, und unsere verschiedenen Versuchsbedingungen (Temperaturen) eine Muskeldurchblutung nicht beeinflussen hätten.

B. METHODIK

DIE PLETHYSMOGRAPHIE

I. ALLGEMEINER TEIL

Unter Plethysmographie versteht man ganz allgemein Volumenmessung. Im speziellen Fall geht es darum, aus den Volumenänderungen Rückschlüsse auf die Durchblutungsverhältnisse des untersuchten Objekts zu ziehen.

1. Das methodische Prinzip

Es kann in vereinfachter Form folgendermaßen dargestellt werden:

Die zu untersuchenden Extremitätenteile oder Organe werden in entsprechend geformte Apparate, sog. Plethysmographen bzw. Onkometer eingeschlossen. Der Plethysmograph muß starrwandig sein und an der Eintrittsöffnung die zu untersuchende Extremität vollkommen dicht umschließen, so daß sich Volumenänderungen nur in Richtung des volumenregistrierenden Instrumentes auswirken können. Dabei gelten folgende Grundbeziehungen:

Das Gesamtvolumen des untersuchten Objekts setzt sich zusammen aus der Gesamtmasse der blutfreien Substanz V_0 und aus dem totalen Blutgehalt V_b . Dieser wiederum resultiert aus der Differenz zwischen totaler Zufluß- und Abflußmenge pro Zeiteinheit. Da unter normalen Bedingungen die Größe V_0 wenigstens über kürzere Zeit konstant bleibt, verbleiben als volumenbestimmende Faktoren nurmehr der Zustrom V_a und der venöse Abfluß V_v . Wie später noch gezeigt werden soll, wird die Größe V_v bei der sog. Stauungsplethysmographie durch kurzfristige Drosselung des Abflusses temporär ausgeschaltet, damit einzig noch der Zustrom V_a im Plethysmogramm zur Darstellung kommt. Der plötzliche Wegfall von V_v äußert sich in einer Zunahme des Volumens, die um so rascher erfolgt, je größer der Zustrom V_a ist. Letzterer aber ist identisch mit dem arteriellen Bluteinstromvolumen, das auf diese Weise in cm^3 Blut pro Zeiteinheit bestimmt werden kann.

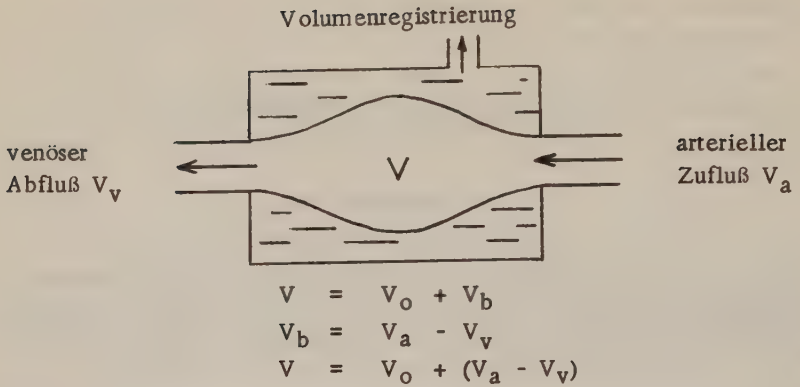


Abbildung 1: Methodisches Prinzip der Plethysmographie

2. Konstruktion des Plethysmographen

Plethysmographen baute man in verschiedenen Variationen, die einfachste Anordnung zur Messung eines Hand-Vorderarm-Plethysmogramms stammt von Mosso. Abb. 2 zeigt diesen Apparat, wie er vor rund 90 Jahren verwendet wurde.

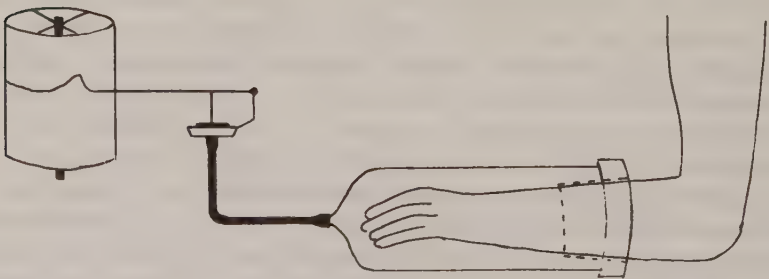


Abbildung 2: Plethysmograph von Mosso. Einfachste Anordnung zur Plethysmographie von Hand und Vorderarm (18)

Für die Konstruktion eines Plethysmographen spielen folgende Faktoren eine maßgebende Rolle:

- 1 Anpassung an Form und Größe des zu untersuchenden Objekts.
- 2 Absolut dichter Abschluß der Eintrittsöffnung mit der zu untersuchenden Extremität.
- 3 Vermeidung einer durch die Abdichtung hervorgerufenen Zirkulationsstörung an der Extremität.
- 4 Konstanterhaltung der Innentemperatur während des Versuchs.
- 5 Günstige Lagerung und völlige Ruhigstellung der Extremität.

Während die Bedingungen 1, 4 und 5 relativ einfach erfüllt werden können, gibt das Problem eines vollkommen dichten Abschlusses des Plethysmographen mit der Extremität unter Vermeidung etwaiger Zirkulationsbehinderungen die größten Schwierigkeiten auf. Mosso und Fich bedienten sich zu diesem Zwecke einer Gummimembran an der Eintrittsöffnung des Plethysmographen, die sich beim Einführen des Vorderarms wie eine Manschette um diesen legte. Naturgemäß mußte man sich bei dieser Methode möglichst enger Membranöffnungen bedienen, was wiederum zu Störungen des venösen Abflusses führen konnte. So wurden in der Folgezeit die verschiedensten Systeme angegeben, wobei man etwa individuell angepaßte Gummischeiben mit aufgesetzten Manschetten oder Schwammgummipolster, rasch trocknenden Kitt und ähnliches benutzte.

In den Laboratorien der Sandoz AG, Basel, entwickelten Rothlin und Bluntschli (22) einen Plethysmographen, wobei sie individuell angepaßte, innen mit Watte und Fett gepolsterte Gipsmanschetten zur Abdichtung benutzten. Die Extremität wurde dadurch dem Abdichtungsdruck, der durch das Aufblasen eines um die Manschette gelegten Gummischlauchs erzielt wurde, entzogen. Diese Methode zeichnet sich zwar durch bestmögliche Abdichtungs- und Zirkulationsverhältnisse aus, mußte aber bei uns am Aufwand (jeweiliges Anfertigen einer eigenen Gipsmanschette) scheitern.

Wir versuchten das Problem dahingehend zu lösen, daß wir einen nicht zu engen Operationshandschuh über die zu untersuchende Hand zogen, welcher nach Einführen der Hand in den Plethysmographen über den nach außen ge-

bogenen Rand der Eintrittsöffnung gestülpt wurde. Zusätzlich verwendeten wir als starren äußeren Abschluß seitlich verschiebbare Holzblenden, sowie einen Metallrahmen (Abb. 3). Auf diese Art glauben wir den vorgenannten Bedingungen mit einfachen Mitteln entsprochen zu haben.

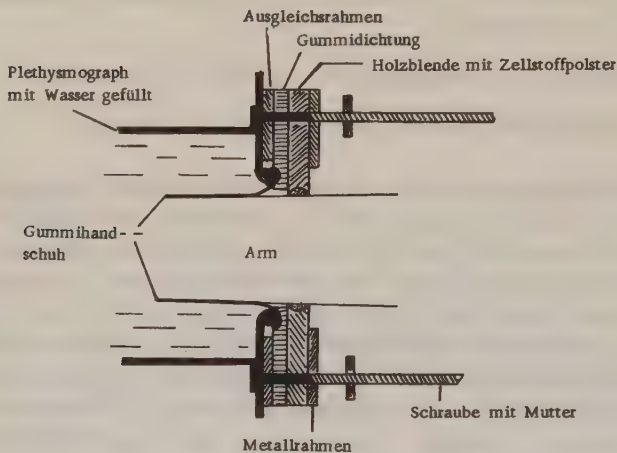


Abbildung 3: Vorrichtung zur Abdichtung des Plethysmographen

3. Prüfung des Plethysmographen

Als Kriterium für die Funktionsfähigkeit eines Plethysmographen führen Rothlin, Bluntschli und Cerletti (23) an, daß bei einer Stauung des venösen Abflusses mit einem Staudruck von 30 mm Hg das Plethysmogramm noch eine Volumenzunahme anzeigen muß. Selbst wenn man den zur Überwindung des Weichteilwiderstandes notwendigen Druckverlust in Rechnung stellt, und den einer Volumenzunahme entgegenwirkenden hydrostatischen Druck im Plethysmographen abzieht, so liegt ein Staudruck von 30 mm Hg deutlich über der physiologischen Höchstgrenze des Venendruckes, der etwa 10 mm Hg ausmacht.

Eine latente, durch die Abdichtung hervorgerufene Stauung wäre also dadurch gekennzeichnet, daß eine registrierbare Volumenzunahme erst dann auftreten würde, wenn der Staumanschettendruck den von vorneherein durch die latente Zirkulationsbehinderung hervorgerufenen höheren Venendruck überwunden hätte. Bei einem Staudruck von 30 mm Hg wäre u. U. gar kein Volumenanstieg oder wenn, dann ein verzögerter zu registrieren. Volumenkurven, die erst recht bei 60 mm Hg einen verzögerten Volumenanstieg zeigen, weisen daher auf das Vorhandensein einer schon bestehenden, latenten Stauung hin und sind für die Berechnung des arteriellen Zustroms nicht geeignet.

4. Die ein Plethysmogramm bestimmenden Faktoren

Außer den oben genannten Faktoren, die bei der Konstruktion eines Plethysmographen zu beachten sind, bestimmen noch folgende das Plethysmogramm:

- 1 Die Größe des arteriellen Einstroms.
- 2 Die Höhe des angewandten Staudrucks.
- 3 Die Raschheit und Dauer der Stauung, sowie die zwischen den Stauungen liegenden Restitutionsintervalle.
- 4 Der Dehnungswiderstand der Gefäße.
- 5 Reflexmechanismen und Artefakte, die durch den Staudruck hervorgerufen werden.

ad 1

Der arterielle Einstrom ist im wesentlichen bestimmt vom peripheren Widerstand der Strombahn; Herzfrequenz und Schlagvolumen spielen für das Einstromvolumen im Endstrombahnbereich keine entscheidende Rolle, sondern sie dienen dem Organismus zur Aufrechterhaltung eines gewissen, möglichst gleichbleibenden Blutdrucks.

ad 2

Bezüglich der Druckhöhe haben wir uns für einen Staudruck von 60 mm Hg entschieden, d. h. einen Druck, der einerseits den diastolischen Druck nicht

übersteigt, andererseits aber einen möglichst großen linearen Volumenanstieg gewährleistet, wie aus dem Folgenden verständlich wird:

Wie man durch blutige Messung an Mensch und Tier feststellen konnte, steigt der Venendruck bei künstlicher Stauung in kurzer Zeit bis auf die Höhe des Manschettendruckes an, wobei er passiv einem stufenweise erhöhten Manschettendruck bis auf Werte folgt, die dem systolischen Blutdruck nahekommen (30, 31, 8, 15).

Die lineare Volumenzunahme ist also bestimmt von der Höhe des angewandten Staudrucks und von der Aufnahmefähigkeit der venösen Strombahn innerhalb des gesamten Bezirks. Ist die Grenze des einen oder anderen erreicht, so läßt sich keine Volumenzunahme mehr registrieren, i. e. die zuerst linear steigende Volumenkurve weicht in die Horizontale ab. Die größte Volumenzunahme zeigt sich also bei Staudrucken, die möglichst hoch, jedoch unterhalb des diastolischen Blutdruckes liegen. Letzteres, um einen ununterbrochenen arteriellen Einstrom zu gewährleisten.

ad 3

Zur Erlangung vergleichbarer Resultate muß die Staumanschette immer gleich schnell aufgeblasen werden können, da andernfalls bei der ersten Stauphase immer ein wechselnder Teil der venösen Abflußwege offensteht, so daß die anfänglichen Volumenreaktionen verschieden ausfallen. Aus diesen Überlegungen scheinen Handgebläse nicht geeignet. Wir wählen daher zu diesem Zweck eine Anordnung, bei der ein mittels Reduzierventil vorgegebener Druck aus einer Sauerstoffflasche durch Öffnen eines Hahnes schlagartig auf die Staumanschette gegeben werden konnte.

ad 4

Die Volumenzunahme erfolgt entgegen dem Widerstand der Gefäße. Sie wird also um so geringer sein, je höher der Venentonus ist. Da der Tonus der Arterien, Kapillaren und Venen der Hand auf Temperaturänderungen anspricht, wird die Volumenzunahme bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich hoch sein.

ad 5

Bei der großen Empfindlichkeit der Hand, auf psychische und sensible Reize mit einer Änderung ihres Volumens zu reagieren, erhebt sich die

Frage, ob nicht mit plötzlicher Einwirkung des Staudrucks Reflexmechanismen ausgelöst werden, die den Ausfall des Volumenanstiegs beeinflussen. Rothlin und Bluntschli untersuchten diese Frage in eigenen Versuchen und beschrieben die dabei gemachten Erfahrungen als "Telephoneffekt". Dabei studierten sie das Verhalten der nicht gestauten Hand hinsichtlich ihrer Durchblutung bei Einwirkung von Reizen, wie das Klingeln des Telephons oder das plötzliche Eintreten einer Person in den Versuchsraum, wobei sie eine Volumenabnahme feststellen konnten. Die Möglichkeit einer sog. Schreckreaktion mit Volumenabnahme ist also auch bei der Druckeinschaltung gegeben. Somit läuft die durch den Manschetten-
druck ebenfalls sensibel ausgelöste Volumenabnahme einer durch die Stauwirkung hervorgerufenen Volumenzunahme entgegen. Weiterhin läßt sich durch das Aufblasen der Manschette und den dadurch entstehenden Druck auf die Weichteile des Unterarms eine, wenn auch nur geringe, Verschiebung der Weichteile und der Blutsäule in den Gefäßen nach beiden Seiten der Manschette hin nicht vermeiden, was eine geringe Volumenzunahme zu Beginn des Stauversuches zur Folge hat.

II. SPEZIELLER TEIL

1. Der Plethysmograph

Er besteht aus einem $270 \times 180 \times 80 \text{ (mm}^3\text{)}$ großen Kasten aus verzinktem, 1,2 mm starken Blech. Die Verzinkung dient als Korrosionsschutz und erwies sich auch zur kurzzeitigen Aufrechterhaltung einer konstanten Temperatur als zweckdienlich. Die Decke des flach liegenden Kastens geht nicht bis zur Rückwand, sondern setzt sich vom distalen Drittel ab in einem aufgesetzten Halbkegel fort. Durch die zur Rückwand hin leicht ansteigende Decke und durch den anschließenden Halbkegel wird bei der Füllung des Plethysmographen mit Wasser ein zuverlässiges Entweichen der Luft gewährleistet. Auf die Kegelspitze ist ein Steigrohr aus Glas aufgesetzt. An der Seitenwand des Plethysmographen befinden sich der Zu- und der Abfluß, zur Temperaturkontrolle innerhalb des Plethysmographen dient ein dicht in die Decke eingelassenes Thermometer. Die Eintrittsöffnung und die Methode der Abdichtung wurde auf Seite 7 und 8 schon beschrieben. Der Plethysmograph ist auf eine Grundplatte aus Holz montiert und somit transportabel. Zwischen Platte und Plethysmograph be-

steht ein Abstand von ca. 25 mm, was aus Gründen einer günstigen Lagerung der Hand geschah.

2. Die Übertragung der Volumenschwankungen

Wie aus den vorangegangenen Erläuterungen hervorgeht, wird der Plethysmograph mit Wasser gefüllt, was sich wegen seiner Inkompressibilität besonders zur Übertragung von Volumenschwankungen eignet. Der dadurch auf der Hand lastende hydrostatische Druck beträgt, wenn man auch noch das im Steigrohr befindliche Wasser in Anrechnung bringt, etwa 18 bis 20 mm Hg. Eine merkliche Beeinträchtigung der Messungen erscheint angesichts dieses geringen Wertes ausgeschlossen.

Die im Steigrohr ersichtlichen Volumenschwankungen werden über einen dickwandigen Gummischlauch, an den ein Palmer-Recorder (Blasebalgschreiber) angeschlossen ist, auf einem Kymographen registriert. Die Versuchsanordnung arbeitet also mit einer Wasser-Luft-Transmission. Diese Übertragungs- und Registriermethode hat sich nach den gemachten Erfahrungen als genügend empfindlich erwiesen, da noch relativ geringe Pulsschwankungen bei nicht gestauter Hand im Kymogramm gut erkennbar waren.

3. Versuchsdurchführung

Die mit einem genügend weiten Operationshandschuh versehene Hand wird bis etwa 2 oder 3 cm über den Handknöchel in den Plethysmographen eingebracht. Die Abdichtung geschieht in der besprochenen Weise, wobei zwischen Unterarm und Holzblende zur Vermeidung einer venösen Stauung noch ein etwa 10 mm breiter und 3 bis 5 mm dicker Zellstoffstreifen gelegt wird. Der Patient darf dabei keine Kompression am Unterarm empfinden, und die Hand soll nach Beendigung des Versuchs keine Zeichen einer permanenten, latenten Stauung aufweisen.

Während des Versuchs liegt die Versuchsperson in möglichst bequemer und entspannter Haltung auf einem Untersuchungsbett. Der zu untersuchende Arm ist im Schultergelenk um etwa 70° abduziert, der Winkel zwischen Ober- und Unterarm beträgt ca. 100° . Der Arm ist am Ellenbogen und am Schultergelenk gut gepolstert, um eine bequeme Lage über längere Zeit zu gewährleisten und Beschwerden oder Ermüdung während des Versuchs zu

vermeiden. Hinter dem Plethysmographen wird eine 4 cm breite Blutdruckmanschette locker um den Unterarm gelegt, welche aus einer Sauerstoffflasche mit Reduzierventil rasch auf den gewünschten Druck aufgeblasen werden kann. Die Manschette ist möglichst weit distal um den Unterarm zu legen, damit sich der Stau-effekt nur an dem im Plethysmographen befindlichen Extremitätenteil vollzieht und somit einer einwandfreien Registrierung und Berechnung zugänglich ist.

Im Anschluß an diese Vorbereitungen wird der Plethysmograph mit Wasser gefüllt; dabei ist auf eine sorgfältige Entlüftung zu achten. Der Wasserspiegel soll wegen der schon erwähnten hydrostatischen Belastung der Hand eine Höhe von ca. 10 cm im Steigrohr nicht überschreiten. Nachdem der Palmer-Recorder angeschlossen ist, können die Stauversuche vorgenommen werden.

Zur Bestimmung des arteriellen Zustroms wird der venöse Abfluß mittels Manschette schlagartig gedrosselt. Mit jedem Pulsschlag steigt nun die Kurve um den Betrag des bei jeder Herzaktion in die Hand eingeworfenen Blutvolumens. Die Kurve bildet eine Resultante aus Volumenzunahme (Ordinate) und Zeit (Abszisse). Nach Eichung des Systems und nach Messung des Handvolumens läßt sich der arterielle Einstrom in cm^3 pro Zeiteinheit pro 100 cm^3 Gewebe an der Kurve ablesen.

Innerhalb drei Minuten wurden etwa sechs bis acht Staukurven gewonnen. Die Staudauer betrug ca. 10 sec., zwischen den einzelnen Stauungen lag jeweils ein Restitutionsintervall von 25 bis 30 sec., das diese Dauer nicht unterschreiten soll, um bis zur nächsten Stauung wieder Normalverhältnisse in der Hand bezüglich des Kreislaufgeschehens herzustellen (12).

4. Eichung des Systems

Zur Berechnung der Volumenzunahme muß der Plethysmograph geeicht sein. Mittels einer Rekordspritze wird eine vorgegebene Menge Wasser in den gefüllten und an das Schreibgerät angeschlossenen Plethysmographen gegeben. Die Höhe des Ausschlags des Schreibgeräts entspricht dann der bekannten, in den Plethysmographen injizierten Wassermenge. Die gewonnene Eichkurve ergab, daß einem Volumenzuwachs von 10 ml ein Ausschlag des Schreibers von durchschnittlich 50 mm entsprach. Der Papier-

vorschub des Kymographen betrug 2 mm pro sec.

5. Bestimmung des Handvolumens

Zur Berechnung der abgelesenen Volumenschwankungen auf 100 cm^3 Gewebe bedarf es der genauen Bestimmung des Handvolumens. Zu diesem Zweck wurde am Unterarm jeder Versuchsperson mit einem Fettstift festgehalten, wie weit der Arm in den Plethysmographen hineinreichte. Die Hand wurde dann im Anschluß an die Versuche unter Berücksichtigung der Holzblendenstärke, also bis etwa 5 mm distal der Markierung in ein bis zum Rand gefülltes Becherglas getaucht. Die dabei aus dem Glas verdrängte Wassermenge entspricht dem Handvolumen und kann durch Wiederauffüllen des Becherglases aus einem graduierten Meßzylinder gesehen werden. Diese Messungen ergaben bei männlichen Versuchspersonen ein durchschnittliches Handvolumen von 485 cm^3 mit Extremwerten von 380 cm^3 und 590 cm^3 . bei den weiblichen ein Volumen von etwa 345 cm^3 mit Extremen von 280 cm^3 und 430 cm^3 .

Berechnung

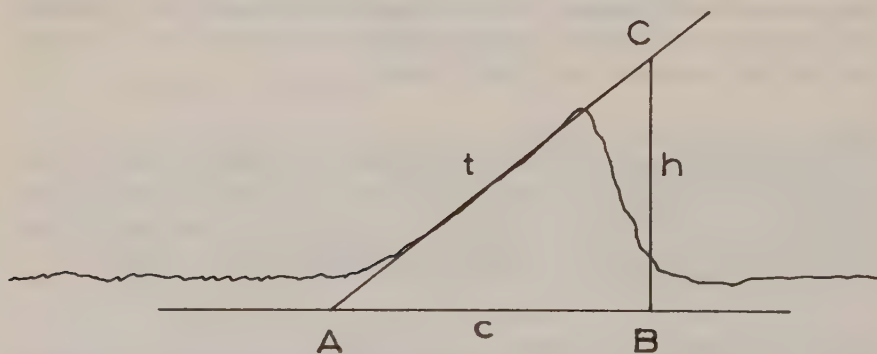


Abbildung 4: Bestimmung des Blutstromvolumens aus dem Plethysmogramm.
Erklärung siehe Text.

An den ungefähr während der ersten 6 bis 10 Pulse linear ansteigenden Kurvenabschnitt des Stauungsplethysmogramms wird eine Tangente "t" gelegt. Das Lot "h" auf eine Horizontale "c" gibt den Volumenanstieg $V_t = BC$ pro Zeiteinheit AB pro Handvolumen V_H an. Man kann nun die Zeit AB auf beispielsweise 6 sec. festlegen und den in dieser Zeit registrierten Volumen-

anstieg BC ablesen. Dividiert man BC durch den Quotienten aus Handvolumen durch 100, so erhält man den Volumenanstieg in 6 sec. pro 100 ccm Handgewebe. Eine Umrechnung des Stromvolumens in einer Minute ergibt sich dann aus der Multiplikation des gefundenen Wertes in 6 sec. mit dem Faktor 10. Das Blutstromvolumen pro 100 ccm Gewebe pro Minute (V_{BI}) läßt sich also nach der Formel

$$V_{BI} = \frac{\text{Volumenzunahme in 6 sec.} \cdot 1000}{\text{Handvolumen}}$$

berechnen.

Für unsere Zwecke habe ich einen Winkelmesser konstruiert, der in ml pro Min. geeicht war. Das methodische Prinzip war dabei folgendes:

Nach Eichung der Geräte entspricht:

- 1 1 Sekunde 2 mm Papiervorschub, also 1 Min. = 120 mm.
- 2 10 ml Volumenzu- oder -abnahme 50 mm Vertikalverschiebung des Schreibhebels, also 1 ml = 5 mm.

Trägt man auf einer Abszisse 120 mm = 1 Min. und auf einer Ordinate ein Vielfaches von 5 mm = einem Vielfachen von 1 ml ein, so lassen sich folgende Tatsachen erkennen:

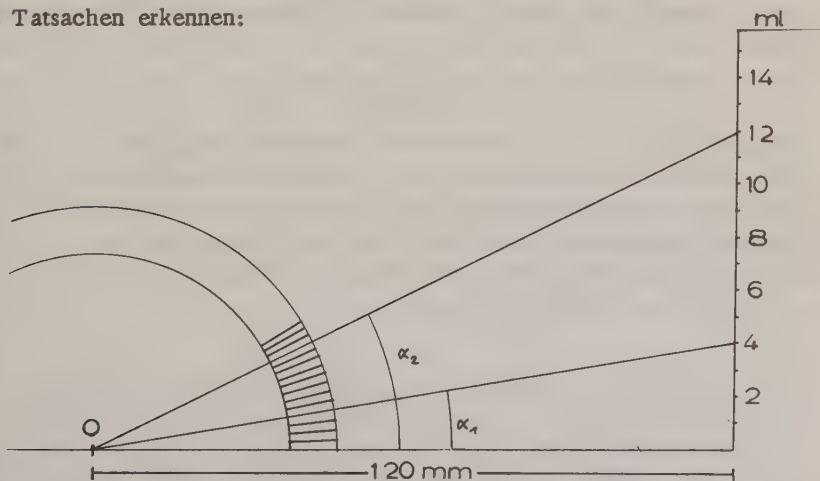


Abbildung 5: Winkelmesser zur Bestimmung des Blutstromzeitvolumens am Plethysmogramm

Der von der Abszisse und einem von 0 ausgehenden Strahl gebildete Winkel entspricht der Volumenzunahme pro Minute, im speziellen Fall entspricht α_1 4 ml und α_2 12 ml pro Min. Auf einem um 0 geschlagenen Halbkreis lassen sich diese Werte aufzeichnen. Verfertigt man diesen Winkelmesser aus Zelluloid, so läßt er sich an jeder Kurventangente anlegen und gibt Aufschluß über das Stromvolumen pro Minute. Voraussetzung für eine einwandfreie Verwendung ist, daß die Linie AB immer waagrecht am Plethysmogramm angelegt wird und 1 ml Volumenzunahme immer 5 mm entspricht. Die Anfertigung dieses Gerätes hat sich bei der Kurvenauswertung als sehr zeit- und mühesparend erwiesen, da man sich zeitraubendes Auszählen ersparen konnte.

6. Störungen des Plethysmogramms

Außer den schon erwähnten Störungen durch eine latente Stauung, Aufblasen der Staumanschette oder Unruhe im Versuchsraum kommt es manchmal zu erheblichen Volumenschwankungen durch Bewegungen der Finger oder des Arms der Versuchspersonen; aus diesem Grunde ist die Versuchsperson dahingehend aufzuklären, daß sie sich während der Messung nicht bewegen darf. Eine entsprechende Lagerung kann dazu entscheidend beitragen. Eine weitere Störungsquelle ist die Atmung. Wie aus den Arbeiten von Rothlin und Bluntschli hervorgeht, läßt sich die Atmung als regelmäßige Volumenschwankung ("Wellen II. Ordnung") am Plethysmogramm ablesen (22). Bei normaler Atmung machen sich diese Schwankungen nicht störend bemerkbar, da sie periodisch verlaufen und daher leicht erkennbar sind. Anders verhält es sich jedoch, wenn während des Versuches die Atmung plötzlich forciert wird oder die Versuchsperson hustet. In diesen Fällen ist mitunter später nicht mehr eindeutig festzustellen, ob ein Abweichen des linearen Kurvenverlaufs auf den Dehnungswiderstand der Gefäße zurückzuführen ist oder als Störung durch die obengenannten Faktoren aufzufassen ist. Eine Vorbereitung der Versuchsperson ist also auch in dieser Hinsicht unbedingt notwendig.

7. Einfluß der Temperatur im Plethysmographen auf die Durchblutung und damit auf das Plethysmogramm

Nach Untersuchungen von Abramson, Zazeela und Marcus (2) empfinden die Versuchspersonen eine Temperatur von 32° als indifferent.

Sie entspricht daher am ehesten den Normalverhältnissen, und Messungen bei dieser Temperatur können Aufschluß über die Normaldurchblutung geben. Die Abhängigkeit des Stromvolumens von der lokalen Temperatur im Plethysmographen wurde schon frühzeitig erkannt, wenn auch systematische Untersuchungen mit exakter Thermoregulation erst später vorgenommen wurden (2, 6, 9, 26). Hierbei zeigte sich, daß das Stromvolumen mit steigender Temperatur zunimmt, während es mit sinkender Temperatur abnimmt. Zum Vergleich der Stromvolumina von Gefäßgesunden und -kranken wurden bei unseren Versuchen Temperaturen von 12°C , 32°C und 42°C im Plethysmographen verwendet. Dabei wurden zuerst die Messungen bei 32°C vorgenommen, um ein möglichst genaues Bild der Ruhedurchblutung zu erhalten und evtl. Nachwirkungen oder Einflüsse durch vorausgegangene Temperaturen zu vermeiden. Die anschließenden Messungen wurden bei 42°C ausgeführt, aus der Überlegung heraus, daß sich eine Wärmehyperämie besser bei einer vorausgegangenen Temperatur von 32°C als einer von 12°C feststellen ließe, da der Gefäßtonus bei 12°C wesentlich stärker ist als bei 32°C und somit zumindestens die ersten Messungen bei 42°C entscheidend beeinträchtigt hätte. Probeversuche zu Beginn dieser Versuchsreihe haben diese Vermutungen bestätigt, was auch umgekehrt die gemessenen Volumenwerte bei 12°C ausgehend von einer Temperatur von 42°C zeigen konnten. Dabei ist deutlich erkennbar, daß sich der stärkste Gefäßtonus erst nach etwa 10 Min. einstellt, der Organismus also eine gewisse, im Einzelfall längere oder kürzere Zeit braucht, den Gefäßtonus und damit das Durchblutungsvolumen auf veränderte Temperaturen einzustellen.

8. Das normale Handplethysmogramm

Da das Plethysmogramm sämtliche Volumenschwankungen, gleich welcher Genese, festhält, scheint es wichtig, den Kurvenverlauf kurz zu beschreiben. Bei einer normal durchgeführten Volumenmessung läßt sich die Kurve in drei Abschnitte aufteilen, die, jeder für sich, Aufschluß über die den Verlauf der Kurve beeinflussenden Faktoren geben. Die gewonnenen Staukurven zeigen alle einen für die Stauungsplethysmographie charakteristischen Verlauf, und zwar:

a) Vor der Stauung: Bei entsprechender Empfindlichkeit des Registriergerätes lassen sich deutliche Volumenschwankungen mit einer Frequenz von 60 bis 80 pro Minute erkennen, die nach Untersuchungen von Rothlin und Bluntschli (22) und nach eigenen Erfahrungen dem Puls entsprechen.

Weiterhin läßt sich eine Abhängigkeit der Durchblutung von der Atmung erkennen, wie langsamer verlaufende, von der Atemfrequenz abhängige Volumenschwankungen zeigen.

b) Während der Stauung: Der Beginn der Stauung macht sich normalerweise in einem sofortigen Anstieg der Volumenkurve bemerkbar. Auf die Vermeidung einer schon bestehenden, latenten Stauung, die sich in einer Verzögerung des Anstiegs zeigt, wurde bereits hingewiesen. Ein etwas steiler, kurz-dauernder Initialanstieg ist auf die schon erwähnte Weichteil- und Blutverschiebung durch die Manschette zurückzuführen und muß daher als Artefakt bewertet werden. Die Dauer und Höhe des linearen Volumenanstiegs ist abhängig vom arteriellen Zufluß und dem bestehenden Venentonus, und daher bei den einzelnen Versuchspersonen unterschiedlich groß. Der lineare Anstieg hält im Durchschnitt etwa vier bis sechs Pulsschläge an und weicht dann langsam in die Horizontale ab. Der Steigungswinkel ist Ausdruck des arteriellen Einstroms pro Zeiteinheit. Nur dieser kurze, lineare Kurvenabschnitt ist zur Berechnung geeignet, da er ausschließlich den arteriellen Einstrom darstellt und der Volumenanstieg noch von keinen anderen Faktoren beeinflusst wird. Entspricht der Kapillar- und Venentonus dem Druck des arteriellen Einstroms, so steigt die Kurve zwar auf Grund der passiven Dehnbarkeit des venösen Strombettes noch weiter an, aber ihr Verlauf wird immer flacher, solange, bis der Druck in den Venen den Staudruck überschreitet. In diesem Moment ist ein Abfluß wieder möglich, i. e. die Kurve verläuft wie vor der Stauung wieder horizontal. Da die ausgeführten Stauversuche in der Regel nie länger als etwa 10 bis 15 sec. dauerten, war ein Horizontalverlauf, wie er eben beschrieben wurde, nicht festzustellen; er blieb Stauversuchen, die interessehalber über wesentlich längere Zeitabschnitte gingen, vorbehalten.

c) Nach Ablassen des Staudrucks: Bei schlagartigem Ablassen des Staudruckes sinkt die Kurve ziemlich rasch wieder auf das Ausgangsniveau. Niveaudifferenzen des Kurvenverlaufs sind unserer Meinung nach auf eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Handvolumens in Wärme respektive Kälte zurückzuführen; dies wäre in Anbetracht der Wärmehyperämie bzw. Kälteischämie verständlich. Im einzelnen sind diese Niveaudifferenzen sicher Ausdruck einer fortschreitenden Vasodilatation bzw. Vasokonstriktion, da sie sich im allgemeinen fast nur nach Temperaturwechsel erkennen lassen und bald verschwinden.

C. MESSERGEBNISSE

An 19 männlichen und 23 weiblichen Versuchspersonen wurden Stauversuche mit je fünf bis acht Einzelmessungen durchgeführt und damit 219 fortlaufende Meßkurven gewonnen, die sich jeweils über einen Zeitraum von ca. 3 Min. erstreckten. Die Staudauer betrug im Durchschnitt 10 bis 15 sec., zwischen den einzelnen Stauungen lag ein Restitutionsintervall von 25 bis 30 sec. Zur Drosselung des venösen Abflusses kam ein Staudruck von 60 mm Hg zur Anwendung. Es wurden alle Staukurven eingehend analysiert und Zeit- und Höhenmaße bestimmt, so daß jede fortlaufende Meßkurve durch durchschnittlich sechs zahlenmäßige Größen erfaßt wurde. Die tabellarische Zusammenfassung der letzteren diente als unmittelbare Grundlage zur Beurteilung der Gesamtergebnisse.

Die Messungen teilen sich in drei Gruppen auf:

1. Messung des arteriellen Einstroms bei 32°C ,
2. bei 42°C und
3. bei 12°C .

Dabei wurde bei 32°C das sog. Ruheblutstromvolumen ermittelt. Ruheblutstromvolumen deshalb, weil eine Temperatur von 32°C als indifferent empfunden wird und damit etwa einer normalen Umwelttemperatur entspricht. Bei 42°C wurde die Wärmehyperämie und bei 12°C die Kälteischämie untersucht. Das Ruheblutstromvolumen bei 32°C wurde bei jeder Versuchsperson als Ausgangswert (100 %) gesetzt und davon ausgehend die Steigerung bzw. Verminderung des Stromvolumens der Hyperämie und der Ischämie prozentual berechnet. Die bei 12°C und 42°C gewonnenen Stromvolumenwerte begrenzen demnach den Bereich, innerhalb dessen sich das arterielle Einstromvolumen unter physiologischen Verhältnissen bewegt.

Zu den im weiteren angeführten Prozentangaben sei noch folgendes bemerkt:

1. Es wurde die Steigerung bzw. Verminderung des Stromvolumens bei jedem Patienten gesondert berechnet.
2. Aus den ermittelten Einzelangaben wurde der Durchschnitt ermittelt.

3. Die durchschnittlichen Stromvolumenwerte wurden miteinander verglichen und ebenfalls eine Steigerung bzw. Verminderung prozentual festgehalten.

Eine weitere Unterteilung der Versuche ist dadurch gegeben, daß bei rund zwei Drittel der Versuche das arterielle Stromvolumen bei den drei obengenannten Temperaturen nur über einen Zeitraum von jeweils 3 Min. beobachtet und registriert wurde, worauf sogleich der Temperaturwechsel im Plethysmographen vorgenommen wurde. Bei dem restlichen Drittel der Versuche wurde das arterielle Stromvolumen bei 12, 32 und 42°C über jeweils 30 Min. beobachtet, wobei zu Beginn des angegebenen Zeitraums, nach 10 Min. und nach 30 Min. das Einstromvolumen plethysmographisch festgehalten wurde.

Registriert wurden bei Gesunden die Plethysmogramme von 38 Jugendlichen im Alter von 16 bis 28 Jahren, sowie einer Frau von 55 Jahren. Bei den Kranken handelt es sich um 4 Frauen im Alter von 18, 21, 35 und 38 Jahren. Während das Alter der kranken Versuchspersonen naturgemäß vorgegeben war, wählten wir bei den gesunden absichtlich Jugendliche, männlich und weiblich, da wir bei diesen am ehesten gesunde Gefäße und damit eine einwandfreie Vasofunktion erwarteten. Die diesbezüglich sorgfältig erhobenen Anamnesen ergaben auch keinerlei Anhaltspunkte, die auf das Bestehen einer Durchblutungsstörung hingewiesen hätten.

Bemerkung: Sämtliche im folgenden angeführten Milliliter-Angaben beziehen sich auf 100 cm³ Gewebe pro Minute.

Tabelle 1: Das Blutstromvolumen der Hand bei Gefäßgesunden und Raynaud-Kranken. Temperatur im Plethysmographen 32, 42 und 12^o.
Verweildauer jeweils 3 Minuten.
Blutstromvolumen bei 32^o = 100 %.

Plethys- mogramm Nr.	Al- ter	Hand- vol. ccm	bei 32 ^o ml = 100 %	bei 42 ^o ml	Stei- gerung um %	bei 12 ^o ml	Vermi- nderung um %
Männer							
18	23	440	0,6	3,8	+ 520	0,4	- 26 %
24	24	510	1,4	8,1	+ 480	1,1	- 21
25	22	480	8,5	24,5	+ 190	6,6	- 22
28	29	460	1,2	5,3	+ 340	1,2	0
29	23	480	2,3	8,5	+ 270	0,8	- 65
31	25	500	2,9	5,5	+ 90	0,6	- 79
31a	26	500	1,5	8,4	+ 460	3,2	+110
32	23	420	1,8	6,2	+ 240	0,6	- 67
35	25	510	6,1	10,2	+ 70	1,8	- 71
36	27	500	3,0	8,8	+ 195	1,2	- 60
38	26	490	1,0	9,0	+ 800	1,0	0
41	21	480	5,6	8,7	+ 60	4,9	- 13
43	21	560	6,1	7,3	+ 20	3,9	- 36
45	24	480	2,2	6,9	+ 215	1,2	- 45
48	22	590	2,0	5,4	+ 170	1,1	- 45
50	22	440	6,7	7,7	+ 10	1,5	- 78
Mittelwerte:			3,3	9,0	+ 260 ⁺ + 173 ⁺⁺	1,9	- 33 ⁺ - 42 ⁺⁺

+) Arithmetisches Mittel der Einzelangaben.

++) Steigerung bzw. Verminderung der Mittelwerte im Vergleich zu 32^o = 100 %.

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Plethys- mogramm Nr.	Al- ter	Hand- vol. ccm	bei 32 ⁰ ml = 100 %	bei 42 ⁰ ml	Stei- gerung um %	bei 12 ⁰ ml	Vermi- nderung um %
<u>Frauen</u>							
19	21	370	0,9	4,0	+ 340	0,5	- 44
21	22	320	1,0	10,0	+ 900	0,9	- 10
(22	55	350	14,8	18,0	+ 20	5,4	- 64)
27	23	320	3,4	5,9	+ 70	1,3	- 62
30	24	310	1,7	7,8	+ 360	1,0	- 41
33	27	320	1,3	3,3	+ 155	0,7	- 46
34	20	380	1,4	3,0	+ 115	0,9	- 36
37	24	320	1,4	6,6	+ 370	0,4	- 71
39	23	340	2,4	8,2	+ 240	0,9	- 62
40	23	380	1,6	5,0	+ 215	0,6	- 62
42	16	280	2,6	7,3	+ 180	1,1	- 58
49	20	320	0,8	3,4	+ 325	1,1	+ 38
Mittelwerte:			1,7	5,9	+ 300 +) + 250 ++)	0,9	- 41 +) - 47 ++)

Kranke

53	18	340	1,6
55	35	410	1,7
56	38	430	0,8
68	21	310	3,3
Mittelwert:			1,8

+) Arithmetisches Mittel der Einzelangaben.

++) Steigerung bzw. Verminderung der Mittelwerte im Vergleich zu 32⁰ = 100%.

I. VERSUCHSREIHE

über jeweils 3 Minuten bei 12, 32 und 42 Grad Plethysmographen-Temperatur (Tabelle 1)

1. Das Ruheblutstromvolumen bei 32 Grad

a) Gesunde Fälle

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, ergab sich aus unseren Einzelmessungen in Ruhelage bei Männern ein Durchschnittswert von 3,3 ml. Dieser Mittelwert gibt aber nur ungenau das Meßergebnis wider, da er, wie jedes Mittel, nur eine rechnerische Größe darstellt, aber nichts über die Schwankungsbreite und Häufigkeit einzelner Werte aussagt. Der Wert 3,3 kann sowohl für die Einzelergebnisse 3,0 und 3,6 als auch für 1,5 2,0, 9,0 1,8 und 2,2 das Mittel ergeben. Während er für das erste Beispiel zutrifft, ist im zweiten ersichtlich, daß der Mittelwert wesentlich höher liegt als 80 % der Einzelwerte, nur weil ein Wert (20 %) so stark nach oben abweicht. Aus diesem Grunde sind Durchschnittswerte, so notwendig sie für eine zusammenfassende Darstellung sind, mit Vorsicht und immer unter Berücksichtigung der Einzelergebnisse zu beurteilen, wenn man falsche Schlußfolgerungen vermeiden möchte.

Im vorliegenden Fall schwanken die Einzelergebnisse zwischen 0,6 als Minimum und 8,5 als Maximum. Dabei sind die Einzelwerte nicht gleichmäßig verteilt, sondern es ergeben sich zwei Gruppen:

von 0,5 bis 3,0 ml	=	70 %	(11 Fälle)
von 6,0 bis 8,5 ml	=	30 %	(5 Fälle).

Bei den weiblichen Versuchspersonen ergab sich ein einheitliches Bild, und zwar:

von 0,5 bis 3,5 ml	=	100 %	(11 Fälle).
--------------------	---	-------	-------------

Nur ein Fall, der jedoch nicht zur Berechnung herangezogen wurde, lag mit einem Ruhewert von 14,8 ml völlig außerhalb der Ergebnisse. Es handelt sich bei diesem Wert um keinen Fehler, da er aus einer Reihe etwa gleichartiger Einzelergebnisse errechnet wurde. Die Versuchsperson war eine äußerst nervöse Frau, mit einer sichtlich gesteigerten Hautdurchblutung, die sie bei 42^o auch noch auf 18,0 ml steigern und bei 12^o auf 5,4 ml hal-

ten konnte. Dieser Kasus stellt zwar einen interessanten Einzelfall dar, kann aber wohl kaum zur statistischen Berechnung herangezogen werden.

Der Mittelwert lag bei den Frauen bei 1,7 ml.

Es fällt auf, daß bei diesen Kurzmessungen das Stromvolumen der Männer um etwa 94% höher liegt als bei den Frauen. Es wird daher interessieren, ob dies nur auf die kurze Versuchsdauer zurückzuführen ist, oder ob sich dieses Verhältnis auch in der zweiten, über 30 Minuten gehenden Meßreihe einstellen wird. (Siehe S. 30)

b) Pathologische Fälle

Die Tatsache, daß es sich bei den Gefäßkranken nur um weibliche Personen handelte, führte zur Unterteilung des gefäßgesunden Personenkreises in Männer und Frauen.

Das Ruhestromvolumen der Gefäßkranken lag bei 1,8 ml, wobei sich 75% (3 Fälle) der Meßergebnisse zwischen 0,8 ml und 1,7 ml bewegten, während wiederum ein Fall (25%) mit 3,3 ml um durchschnittlich 135% höher liegt.

2. Die Wärmehyperämie bei 42 Grad

Diese Messungen wurden bei einer Temperatur im Plethysmographen von 42° durchgeführt. Dabei sollte das Verhalten der Durchblutung bei Wärmeeinwirkung untersucht werden. Subjektiv gaben die Versuchspersonen ein die Hand heiß durchströmendes Gefühl an, in einigen Fällen glaubten sie, die Hand sei zum Zerreißen gespannt. Die Versuche wurden nur an gesunden Menschen durchgeführt.

Männer. Die Messungen, die an den gleichen Versuchspersonen wie bei 32° erfolgten, ergaben ein durchschnittliches Stromvolumen von 9,0 ml. Das entspricht, verglichen mit dem Mittelwert bei 32°, einer Steigerung um ca. 173%. Die Einzelergebnisse schwanken zwischen 3,8 ml und 24,5 ml. Es fällt dabei auf, daß zwei (Nr. 25 und 35) von fünf Versuchspersonen, die bei 32° schon ein erhebliches Stromvolumen aufwiesen, dieses noch enorm steigern konnten, während in den drei anderen Fällen

(Nr. 41, 43 und 50) die Steigerung nicht so eindrucksvoll verlief.

Die Werte der prozentualen Steigerung vom jeweiligen Stromvolumen bei 32° auf das Hyperämiestromvolumen bei 42° streuen ziemlich stark, und zwar von + 10 % bis + 800 %. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß ein durchaus im Normbereich liegender Hyperämiewert bei extrem kleinem Ruhewert eine enorme Steigerung prozentual gesehen bedeuten kann. Findet sich z. B. ein Ruhewert von 0,6 ml, so ergibt ein Hyperämiewert von 3,8 ml (Nr. 18) eine Steigerung um 530 %, der 42°-Wert liegt jedoch mit 3,8 ml ganz erheblich unter dem Durchschnitt und bedeutet mit 2,2 ml keine nennenswerte Zunahme. Daraus ergibt sich auch der Unterschied zwischen dem Mittelwert, der - aus den prozentualen Einzelsteigerungen ermittelt - 260 % ergab, und einer Steigerung um 173 %, die sich aus den Mittelwerten 3,3 ml bei 32° und 9,0 ml bei 42° errechnen läßt. Daher dürfte auch den Stromvolumenmittelwerten eine größere Bedeutung in der Beurteilung zukommen als den Prozentangaben.

Frauen. Hier wurden Werte von 3,0 ml bis 10,0 ml mit einem Mittelwert von 5,9 ml registriert. Die Steigerung belief sich auf 70 % bis 900 % mit einem Durchschnitt von 300 %. Dabei gelten die gleichen Vorbehalte bezüglich der Streuung der Prozentangaben wie bei den Männern. Das durchschnittliche Stromvolumen von 5,9 ml ergab bei einem Mittelwert von 1,7 ml bei 32° eine Erhöhung des Durchflußvolumens um etwa 250 %.

3. Die Kälteischämie bei 12 Grad

Wie aus unseren Untersuchungen hervorging, veranlaßt eine auf die Gefäße einwirkende Temperatur von ca. 12 bis 14° eine maximale Vasokonstriktion und reduziert damit das Stromvolumen auf ein Minimum. Unterhalb dieser Temperatur machen sich bereits Lähmungserscheinungen der Gefäßmuskulatur bemerkbar, und es kommt wieder zu einer Erhöhung des Durchflusses. Wir stellten daher zur Ermittlung eines minimalen Stromvolumens die Temperatur im Plethysmographen auf etwa 12 bis 13° ein. Subjektiv machte sich die Kälteeinwirkung in einem leichten, in manchen Fällen sogar stärkeren Schmerzgefühl bemerkbar. Auch hier wurden nur Gefäßgesunde untersucht.

Männer. Sie reagierten auf den starken Kältereiz mit einer deutlichen Vasokonstriktion und einer dadurch hervorgerufenen Verminderung des Stromvolumens auf durchschnittlich 1,9 ml. Die Meßergebnisse schwanken zwischen 0,4 ml und 6,6 ml, lagen aber im wesentlichen (80%, 13 Fälle) zwischen 0,8 und 3,9 ml. Die Maximalwerte waren bei denjenigen Versuchspersonen zu finden, die schon ein relativ hohes Ruhe-, und erst recht ein hohes Hyperämiestromvolumen aufwiesen. Nur in zwei Fällen lag das Ischämiestromvolumen mit 1,8 ml (Nr. 35) und 1,5 ml (Nr. 50) wesentlich niedriger, als aufgrund der Volumenwerte bei 32° und 42° erwartet werden durfte.

Die Verminderung des Stromvolumens, gemessen am jeweiligen Durchstromergebnis bei 32°, betrug bei den einzelnen Versuchspersonen zwischen -79% und 0 %. Nur eine Versuchsperson (Nr. 31a) wies gegenüber 32° ein um 110 % gesteigertes Stromvolumen auf. Der errechnete Durchschnittswert des Stromvolumens bei 12° bedeutet mit 1,9 ml gegenüber dem Mittelwert bei 32° eine Verminderung um 42 %.

Frauen. Es war zu erwarten, daß diese wieder ein gegenüber den Männern geringeres Stromvolumen bei Kälteeinwirkung aufweisen würden, was sich mit einem Durchschnittswert von 0,9 ml bei Schwankungen zwischen 0,4 und 1,3 ml gut zeigen ließ. Die Verminderung betrug zwischen -71 % und -10 %, wobei allerdings auch wieder eine Versuchsperson (Nr. 49) mit einer Zunahme von 38 % die Regel durchbrach. Die durchschnittliche prozentuale Verminderung gegenüber dem Stromvolumen bei 32° betrug -59 %. Der Vergleich der Stromvolumenmittelwerte von 12° und 32° ergab eine Verminderung des Durchflußvolumens bei Kälteeinwirkung um -47 %.

II. VERSUCHSREIHE

über jeweils 30 Minuten bei 12, 32 und 42 Grad Plethysmographen-Temperatur (Tabellen 2, 3 und 4)

Eines der auffallendsten Merkmale der bisherigen Meßwerte war die deutliche, in manchen Fällen extreme Streuung der Ergebnisse. Diese Tatsache veranlaßte uns, nach einer Versuchsdurchführung zu suchen, die eine größere Gewähr für etwa gleichartige Versuchsbedingungen bot. Wir nahmen nämlich an, daß die Werte streuen mußten, weil die Versuchspersonen fast immer ohne Vorbereitung, im Sinne einer Einstellung auf eine bestimmte, von uns gewünschte Ruhelage, zu den Messungen kamen. Es lag daher nahe, die Verweildauer im Plethysmographen bei gleichbleibender Temperatur auf 30 Minuten auszudehnen, um die Probanden psychisch und physisch in einen Gleichgewichtszustand zu bringen und zumindest am Ende dieses Zeitraumes exogene Momente, wie starke Bewegungen der Hand bei vorausgegangener Arbeit oder die meist zu beobachtende Spannung, vielleicht sogar Aufregung vor der Messung, weitgehend auszuschließen bzw. entscheidend zu vermindern. Dieses Vorgehen erwies sich als vorteilhaft nicht nur zur Bestimmung eines Ruheblutstromvolumens, sondern zeigte ganz allgemein, daß die Durchblutung auf Temperatureinwirkung nicht sofort, sondern erst allmählich reagiert.

In dieser Versuchsreihe wurde also das arterielle Stromvolumen jeweils über einen Zeitraum von 30 Minuten bei Temperaturen von 12, 32 und 42 Grad beobachtet, und zwar wurden zu Beginn der halben Stunde, nach 10 Min. und am Ende des angegebenen Zeitraumes die Stromvolumenwerte jeweils drei Minuten lang plethysmographisch festgehalten. Die im folgenden aufgeführten Prozentangaben beziehen sich alle auf den nach 30 Minuten bei 32 Grad gefundenen Meßwert (= 100%).

Die Messungen wurden an vier Männern und sieben Frauen i. e. elf Gefäßgesunden und an vier weiblichen Versuchspersonen, deren Anamnese auf ein Raynaud-Syndrom hindeutete, durchgeführt.

Tabelle 2: Das Blutstromvolumen der Hand bei Gefäßgesunden und Raynaud-Kranken. Temperatur im Plethysmographen 32°C. Verweildauer: 30 Minuten. Aufzeichnung des Stromvolumens zu Beginn des Versuches, nach 10 Min. und nach 30 Min. Stromvolumen bei 32° nach 30 Min. = 100%.

Plethys- mogramm Nr.	Al- ter	Hand- vol. ccm	zu Beginn ml	%	nach 10 Min. ml	%	nach 30 Min. ml	%
Gefäßgesunde								
Männer								
60	26	490	3,6	+ 70	3,0	+ 43	2,1	100
64	21	540	2,5	0	2,5	0	2,5	
65	25	450	8,7	+ 5	7,1	- 15	8,3	
71	21	380	4,4	+ 8	4,7	+ 12	4,1	
Mittelwerte:			4,8	+ 21 ⁺ + 16 ⁺⁺	4,3	+ 10 ⁺ + 4 ⁺⁺	4,15	
Frauen								
57	22	410	0,7	0	0,9	+ 28	0,7	100
59	23	320	3,5	+ 94	4,7	+161	1,8	
69	21	300	5,4	+ 12	4,8	0	4,8	
72	21	330	7,3	+ 8	8,1	+ 19	6,8	
74	24	310	4,1	+ 8	3,6	- 12	3,8	
76	21	400	6,0	+161	6,4	+188	2,3	
77	21	330	0,8	0	0,8	0	0,8	
Mittelwerte:			4,0	+ 40 ⁺ + 74 ⁺⁺	4,3	+ 55 ⁺ + 87 ⁺⁺	2,3	
Raynaud - Kranke								
Frauen								
53	18	340	1,6	- 11	1,9	+ 6	1,8	100
55	35	410	1,7	- 26	1,8	- 22	2,3	
56	38	430	0,8	0	0,8	0	0,8	
68	21	310	3,3	- 39	4,1	- 24	5,4	
Mittelwerte:			1,8	- 19 ⁺ - 31 ⁺⁺	2,2	- 10 ⁺ - 15 ⁺⁺	2,6	

+) Arithmetisches Mittel der Einzelangaben.

+ +) Steigerung bzw. Verminderung der Stromvolumenmittelwerte im Vergleich zum Stromvolumenmittel bei 32° nach 30 Minuten.

1. Das Ruheblutstromvolumen bei 32 Grad (Tabelle 2)

a) Gefäßgesunde

Männer. Das Stromvolumen liegt bei durchschnittlich

4,8 ml zu Beginn

4,3 ml nach 10 Min.

4,1 ml nach 30 Min.

und zeigt damit eine stetige Abnahme im Verlauf der Messung. Während bei den einzelnen Versuchspersonen der Endwert in allen Fällen unter dem Anfangswert liegt, finden sich bei den Mittelwerten sämtliche Variationsmöglichkeiten (siehe Tab. 2), und die aus den Mittelwerten zu ersehende Abnahme nach 10 Minuten gegenüber dem Anfangswert ist ein rein zufälliges Rechenergebnis.

Frauen. Auch hier läßt sich eine eindeutige Abnahme des Stromvolumens am Ende des Meßzeitraumes gegenüber den zu Beginn ermittelten Ergebnissen feststellen. Der nach 10 Minuten gefundene Wert verhält sich im einzelnen auch nicht gleichsinnig, allerdings ist bei dem größeren Teil der Versuchspersonen (57% = 4 Fälle) eine leichte Steigerung vom Beginn des Versuches bis zur Messung nach 10 Minuten und anschließend eine Senkung zum Endwert nach 30 Minuten zu finden. Zwei Fälle (29%) zeigten ein unter dem Anfangswert liegendes Ergebnis nach 10 Minuten, ein Fall (14%) ein von Anfang bis Ende gleichbleibendes.

Die Durchschnittswerte zeigten mit

4,0 ml zu Beginn

4,3 ml nach 10 Min.

2,3 ml nach 30 Min.

die schon in der Mehrzahl der Fälle ersichtliche leichte Steigerung in den ersten 10 Minuten und anschließend die starke Verminderung des Stromvolumens zum Endwert hin.

Zusammenfassend lassen sich hinsichtlich des Stromvolumens bei 32° folgende, bei sämtlichen gesunden Versuchspersonen zu ersehende Feststellungen treffen:

- 1 Das nach einer Verweildauer von 30 Minuten ermittelte Stromvolumen liegt bei Männern und Frauen unter dem Anfangswert.

- 2 Die männlichen Versuchspersonen weisen auch nach 30 Minuten ein um etwa 80% höher liegendes Stromvolumen auf als die weiblichen.

b) Pathologische Fälle

Das Stromvolumen der Gefäßkranken reagierte auf die länger einwirkende Temperatur von 32 Grad mit einer allmählichen Zunahme in drei Fällen (75%), in einem Fall (25%) zeigte sich im Verlauf der 30 Minuten keine Änderung. Eine Abnahme, wie sie bei Gefäßgesunden immer festzustellen war, konnte hier nicht gefunden werden. Die Durchschnittswerte betrugen

1,8 ml	zu Beginn
2,2 ml	nach 10 Min. und
2,6 ml	nach 30 Min.

Merkwürdigerweise liegt das Ruhestromvolumen der Versuchsperson Nr. 68 außerordentlich hoch und deutet in keiner Weise auf eine Minderdurchblutung hin. Gleichwohl klagt die Patientin seit ihrer Kindheit vor allem bei Kälteeinwirkung und psychischer Erregung über anfallsweises, schmerzhaftes Kalt- und Blauwerden der Hände, so daß an einem Raynaud-Syndrom klinisch keine Zweifel bestehen. Die Patientin weist auch, wie später ersichtlich, ein verhältnismäßig hohes Hyperämievolumen und ein immer noch als ausreichend zu betrachtendes Stromvolumen bei Kälteeinwirkung auf.

Der nach 10 Minuten ermittelte Stromvolumenwert lag im allgemeinen, wenn man von geringgradigen Abweichungen, die im Rahmen der Meßungenauigkeiten liegen, absieht, zwischen dem Anfangs- und Endwert.

Tabelle 3: Das Blutstromvolumen der Hand bei Gefäßgesunden und Raynaud-Kranken. Temperatur im Plethysmographen 42°. Verweildauer: 30 Minuten. Aufzeichnung des Stromvolumens zu Beginn des Versuches, nach 10 Minuten und nach 30 Minuten.

Plethysmogramm Nr.	zu Beginn		nach 10 Min.		nach 30 Min.	
	ml	%	ml	%	ml	%
Gefäßgesunde						
Männer						
60	8,3	+ 295	9,4	+ 348	13,1	+ 522
64	4,2	+ 68	6,3	+ 152	9,6	+ 284
65	10,1	+ 22	8,6	+ 4	10,3	+ 24
71	8,4	+ 105	7,5	+ 83	8,2	+ 100
Mittelwerte:	7,7	+ 123 ⁺) + 87 ⁺⁺)	8,0	+ 147 ⁺) + 93 ⁺⁺)	10,3	+ 233 ⁺) + 148 ⁺⁺)
Frauen						
57	4,4	+ 528	5,9	+ 740	7,2	+ 920
59	3,0	+ 66	2,4	+ 34	5,4	+ 200
69	4,3	- 10	4,6	- 4	6,8	+ 42
72	9,0	+ 32	8,8	+ 29	10,2	+ 50
74	4,6	+ 21	4,9	+ 29	7,3	+ 92
76	6,1	+ 165	6,4	+ 188	8,2	+ 299
77	4,0	+ 400	4,4	+ 450	6,8	+ 750
Mittelwerte:	5,1	+ 172 ⁺) + 121 ⁺⁺)	5,3	+ 209 ⁺) + 130 ⁺⁺)	7,4	+ 336 ⁺) + 222 ⁺⁺)
Raynaud - Kranke						
Frauen						
53	4,4	+ 144	4,2	+ 133	5,6	+ 211
55	3,6	+ 56	4,5	+ 96	5,5	+ 139
56	5,3	+ 563	3,8	+ 375	10,0	+ 1125
68	9,5	+ 76	8,7	+ 61	13,1	+ 143
Mittelwerte:	5,7	+ 210 ⁺) + 120 ⁺⁺)	5,3	+ 166 ⁺) + 104 ⁺⁺)	8,5	+ 404 ⁺) + 226 ⁺⁺)

+) Arithmetisches Mittel der Einzelangaben.

++) Steigerung bzw. Verminderung der Mittelwerte im Vergleich zum Mittelwert bei 32 Grad nach 30 Minuten.

2. Die Wärmehyperämie bei 42 Grad (Tabelle 3)

a) Gefäßgesunde

Männer. Die Durchschnittswerte von

7,7 ml	zu Beginn
8,0 ml	nach 10 Min. und
10,3 ml	nach 30 Min.

zeigen eine anhaltend steigende Tendenz des Stromvolumens, wie sie auch die einzelnen Meßergebnisse im wesentlichen wiedergeben. Nur in einem Fall (Nr. 71) war keine Steigerung sondern eine, wenn auch geringe, Verminderung zu beobachten. Die Steigerung im Verlauf der 30 Minuten erreichte in manchen Fällen recht beachtliche Ausmaße (bis zu 5,4 ml), und die zu Beginn noch sehr deutlich ausgeprägte Streuung der Einzelwerte wurde mehr und mehr ausgeglichen.

Im einzelnen steigerten die Versuchspersonen ihr Stromvolumen bei 42° um 24 bis 520 %, verglichen mit ihrem Ruhestromvolumen. Die durchschnittlichen Volumenwerte lagen

zu Beginn	um 87 %
nach 10 Min.	um 93 % und
nach 30 Min.	um 148 %

höher als der mit 100% zugrunde liegende Durchschnittswert bei 32° nach 30 Minuten (4,15 ml).

Frauen. Bei den weiblichen Versuchspersonen war in der überwiegenden Mehrheit (86% = 6 Fälle) eine allmähliche Steigerung zu beobachten. Nur in einem Fall (14 %) war nach 10 Minuten eine geringfügige Verminderung festzustellen, die aber nach 30 Minuten wieder ausgeglichen war.

Grundsätzlich lag das Ergebnis nach 30 Minuten über dem Wert zu Beginn der Messung, und zwar steigerten die einzelnen Versuchspersonen ihr Stromvolumen um maximal 3,8 ml. Bei 42° lagen die Mittelwerte mit

5,1 ml	zu Beginn	um 121 %
5,3 ml	nach 10 Min.	um 130 % und
7,4 ml	nach 30 Min.	um 222 %

höher als der bei 32° nach 30 Minuten errechnete Mittelwert 2,3 ml.

Die einzelnen Versuchspersonen steigerten ihr Stromvolumen, verglichen mit dem bei 32° , um durchschnittlich

172 %	zu Beginn
209 %	nach 10 Min. und
336 %	nach 30 Min.

Die Endwerte nach 30 Min. zeigen im großen und ganzen ein einheitliches Bild, die zu Beginn der Messung aufgetretene Streuung ist weitgehend ausgeglichen.

b) Pathologische Fälle

Die Gefäßgestörten steigern das Stromvolumen, ebenso wie die Gesunden, um nicht unerhebliche Beträge, jedoch fällt im Vergleich mit den Gesunden, vor allem mit den Frauen, auf, daß hier keine allmähliche, stetige Steigerung festzustellen ist. Bei den Raynaud-Kranken überwiegt vielmehr der Typ, dessen 10-Minuten-Wert unter dem Ausgangswert und in noch stärkerem Maße unter dem Endwert liegt. Mit anderen Worten: Bei gesunden Frauen stieg das Stromvolumen im Verlauf der 30 Minuten stetig, während es bei den kranken in 75% der Fälle in den ersten 10 Minuten abfällt, um dann, ebenso wie bei den gesunden Versuchspersonen, am Ende des Beobachtungszeitraumes das Maximum zu erreichen.

Die Durchschnittswerte lagen mit

5,7 ml	zu Beginn	um 119 %,
5,3 ml	nach 10 Min.	um 104 % und
8,5 ml	nach 30 Min.	um 227 %

höher als der mit 2,6 ml als 100% zugrunde liegende Durchschnittswert bei 32° nach 30 Minuten. Wie aus Tab. 3 ersichtlich, streuen die Einzelwerte ganz beträchtlich, maximal bis zu 7,5 ml (Nr. 53 und 68 nach 30 Min.).

Die einzelnen Versuchspersonen steigerten ihr Stromvolumen bei 42° , ausgehend von dem bei 32° nach 30 Min., um durchschnittlich

210 %	zu Beginn
166 %	nach 10 Min. und
404 %	nach 30 Min.

Es fällt vor allem auf, daß die Versuchsperson Nr. 56, die bei 32° noch das geringste Stromvolumen der Kranken aufwies, dieses bei 42° auf

10,0 ml steigern konnte; dies macht sich auch in der prozentualen Berechnung bemerkbar, wo in diesem Fall eine extreme Steigerung um 1125 % festzustellen war.

Bei Wärmeeinwirkung lassen sich die Kranken in zwei gleichgroße Gruppen unterteilen, und zwar:

- 1 eine, die mit 5,5 ml und 5,6 ml ein relativ geringes Hyperämie-stromvolumen zeigt und
- 2 eine Gruppe, die mit 10,0 ml und 13,1 ml ein vor allem bei Nr. 56 erstaunlich hohes Stromvolumen bei 42° aufweist.

Es fällt dabei zumindest hier schwer, bei den Raynaud-Kranken von einer einheitlichen Reaktion auf Wärmereiz zu sprechen.

3. Die Ischämie bei 12 Grad (Tabelle 4)

Vorweg sei darauf hingewiesen, daß die Messungen bei 12 Grad anschließend an die bei 42 Grad durchgeführt wurden. Erwartungsgemäß stellte sich die Vasokonstriktion erst allmählich ein, und somit ist die Höhe der Anfangswerte, die mitunter noch ganz beträchtlich sein kann, darauf zurückzuführen und folgedessen von geringerer Bedeutung.

a) Gefäßgesunde

Männer. War bei den vorausgegangenen Untersuchungen bei 42°, vor allem bei den Frauen, eine zunehmende Steigerung des Durchstromvolumens im Verlauf der Messung zu sehen, so fand sich hier bei 12° analog ein auf immer geringere Werte abfallendes Stromvolumen. Die Versuchspersonen zeigen in allen Fällen ein allmähliches Abfallen des Durchstromvolumens, wenn auch die Werte der Einzelpersonen ziemlich stark divergieren, und zwar nicht nur zu Beginn, sondern auch noch nach 30 Min.

Tabelle 4: Das Blutstromvolumen der Hand bei Gefäßgesunden und Raynaud-Kranken. Temperatur im Plethysmographen 12°. Verweildauer: 30 Minuten. Aufzeichnung des Stromvolumens zu Beginn, nach 10 Minuten und nach 30 Minuten.

Plethysmogramm Nr.	zu Beginn ml	%	nach 10 Min. ml	%	nach 30 Min. ml	%
Gefäßgesunde						
<u>Männer</u>						
60	8,3	+ 295	4,5	+ 114	3,7	+ 76
64	3,8	+ 52	3,1	+ 22	1,5	- 40
65	10,8	+ 34	7,6	- 8	7,2	- 13
71	3,4	- 17	1,7	- 59	1,2	- 71
Mittelwerte:	6,6	+ 91 ⁺) + 59 ⁺⁺)	4,2	+ 17 ⁺) + 2 ⁺⁺)	3,4	- 12 ⁺) - 18 ⁺⁺)
<u>Frauen</u>						
57	2,6	+ 272	1,5	+ 114	1,8	+ 157
59	2,1	+ 16	2,0	+ 11	2,6	+ 44
69	5,2	+ 8	2,3	- 52	3,7	- 23
72	2,8	- 59	2,1	- 69	2,5	- 63
74	4,2	+ 10	2,6	- 32	3,0	- 21
76	4,6	+ 100	3,9	+ 69	1,4	- 39
77	5,2	+ 550	2,0	+ 150	1,7	+ 112
Mittelwerte:	4,6	+ 166 ⁺) + 100 ⁺⁺)	2,3	+ 27 ⁺) 0 ⁺⁺)	2,8	+ 45 ⁺) + 22 ⁺⁺)
Raynaud-Kranke						
<u>Frauen</u>						
53	1,5	- 17	1,4	- 22	1,1	- 39
55	2,3	0	2,5	+ 9	1,2	- 48
56	2,0	+ 150	1,2	+ 50	1,1	+ 37
68	4,5	- 13	1,9	- 65	1,9	- 65
Mittelwerte:	2,6	+ 30 ⁺) 0 ⁺⁺)	1,8	- 7 ⁺) - 31 ⁺⁺)	1,3	- 41 ⁺) - 50 ⁺⁺)

+) Arithmetisches Mittel der Einzelangaben.

++) Steigerung bzw. Verminderung der Mittelwerte im Vergleich zum Mittelwert nach 30 Minuten bei 32 Grad.

Die Durchschnittswerte liegen mit

6,6 ml	zu Beginn	um 59 %,
4,2 ml	nach 10 Min.	um 1 % höher und mit
3,4 ml	nach 30 Min.	um 18 % niedriger

als der mit 4,15 ml = 100 % zugrunde liegende Mittelwert bei 32° nach 30 Minuten.

Daraus ist zu ersehen, daß eine Verminderung des Stromvolumens unter das Niveau bei 32° erst relativ spät und auch dann nur in geringem Maße zu beobachten war. Während zu Beginn der Messung noch 75% der Fälle über ihrem Stromvolumen bei 32° lagen, war dies nach 10 Minuten nur noch bei 50% und nach 30 Minuten nur noch bei 25% der Fälle zu ersehen.

Errechnet man den sich aus den Einzelangaben ergebenden Durchschnitt, so lagen zu Beginn der Messung, also unmittelbar nach 42°, die Stromvolumenwerte der einzelnen Versuchspersonen um 91% und nach 10 Minuten noch um 17% höher als ihr Endwert bei 32°. Erst nach 30 Minuten war ein um 12% niedrigeres Stromvolumen zu ersehen.

Vergleicht man die Stromvolumenangaben der vier Versuchspersonen untereinander, so fällt die Versuchsperson Nr. 65 auf, die auch bei 12° ein ungleich höheres Stromvolumen aufweist als die Vergleichspersonen. Damit hat dieser Proband, wie aus den früheren Hinweisen und den Tabellen 2, 3 und 4 ersichtlich, eine extrem starke Handdurchblutung bei 32°, die zwar bei 42° nicht mehr wesentlich gesteigert wird, aber auch bei 12° nur geringfügig absinkt. In gewissem Maße ist dieser Fall auf der männlichen Seite, auch wenn er nicht so hohe Extremwerte aufweist, mit der weiblichen Versuchsperson Nr. 22 (Tab. 1) zu vergleichen.

Frauen. Die Erwartung, daß das Stromvolumen der weiblichen Versuchspersonen bei 12° in stärkerem Maße unter den Wert bei 32° absinken würde, trifft bei der Betrachtung der Durchschnittswerte nicht zu. Diese liegen nämlich

mit 4,6 ml	zu Beginn	um 100% höher,
mit 2,3 ml	nach 10 Min.	gleich und
mit 2,8 ml	nach 30 Min.	um 22% höher

als der Mittelwert, 2,3 ml = 100% bei 32° nach 30 Minuten.

Errechnet man aus den einzelnen Prozentangaben den Durchschnitt, so liegt dieser mit

+ 166%	zu Beginn,
+ 27%	nach 10 Min. und
+ 45%	nach 30 Min.

im Verlauf der gesamten Messung über dem Wert bei 32° nach 30 Minuten.

Betrachtet man jedoch die Meßergebnisse unter einem anderen Aspekt, indem man die Stromvolumenangaben der einzelnen Versuchspersonen mit dem jeweils dazugehörigen Endwert bei 32° vergleicht, so ergibt sich folgendes Bild:

Es liegen bei 12°

zu Beginn der Messung	1 Fall	=	14%
nach 10 Minuten	3 Fälle	=	43%
nach 30 Minuten	4 Fälle	=	57%

unter ihrem Volumenwert bei 32° nach 30 Minuten. So gesehen, kann man, auch wenn die Durchschnittswerte dagegen sprechen, von einer Verminderung des Stromvolumens bei 12° gegenüber 32° sprechen.

Im Gegensatz zu den Männern, die auf eine länger auf die Gefäße einwirkende Temperatur von 12° mit einer stetigen Abnahme des Stromvolumens reagierten, liegt bei 71% (5 Fälle) der Frauen das Stromvolumenminimum in dem Meßergebnis nach 10 Minuten vor. Nur in zwei Fällen sinkt es noch weiter, während es in der überwiegenden Zahl der Fälle wieder leicht ansteigt.

b) Pathologische Fälle

Das Stromvolumen nahm in allen Fällen im Verlauf des Versuchs ab, und zwar in 75% der Messungen kontinuierlich, in einem Fall (25%) war nach 10 Minuten ein ganz geringer Anstieg um 0,2 ml zu beobachten, der aber im weiteren Verlauf wieder ausgeglichen wurde.

Die Durchschnittswerte lagen mit

2,6 ml	zu Beginn	gleich,
1,8 ml	nach 10 Min.	um 31% und
1,3 ml	nach 30 Min.	um 50%

niedriger als der Vergleichswert bei 32° nach 30 Minuten.

Das Stromvolumen lag bei den Einzelnen im Durchschnitt

zu Beginn	um 30 % über,
nach 10 Min.	um 7 % unter und
nach 30 Min.	um 41 % unter

dem jeweiligen Wert bei 32° nach 30 Minuten.

Auffallend ist auch hier wieder der bei 12° noch ziemlich hohe Stromvolumenwert der Versuchsperson Nr. 68. Sie zeigte damit, trotz der schon oben aufgeführten Beschwerden, bei sämtlichen Messungen die besten Durchblutungsgrößen in dieser Personengruppe.

D. BESPRECHUNG

Die von uns verwendete Methode der Durchblutungsmessung mit der Venenstauungsplethysmographie beruht auf der Registrierung der Volumenschwankungen der Hand, die durch Puls, Atmung etc., vor allem aber durch die Unterbindung des venösen Abflusses hervorgerufen werden. Diese Methode hat den Vorteil, daß in die Meßergebnisse das Durchblutungsgeschehen der ganzen Hand und nicht nur eines kleinen Bezirkes eingeht, wodurch Fehler, die in der Natur jeder Messung liegen, entsprechend geringer sind. Mit dem System der Wasser-Luft-Transmission hat sich die Versuchsanlage als genügend empfindlich erwiesen, da auch noch geringgradige Pulsschwankungen sowohl hinsichtlich Frequenz als auch vor allem bezüglich der Amplitude gut im Plethysmogramm zu erkennen waren.

In die Meßergebnisse gehen dabei sämtliche Faktoren, die eine Durchblutungssteigerung bzw. -verminderung hervorrufen, ein, und zwar:

Erhöhung bzw. Erniedrigung der Strömungsgeschwindigkeit, i. e.
Eröffnung von Kapillaren,
Dilatation bzw. Konstriktion arterieller Gefäßstrecken und die
Eröffnung arterio-venöser Anastomosen.

Wie oben (Seite 3f.) schon erwähnt, haben die anderen Methoden, wie Hautthermometrie, Rheographie, Messung der Wärmeleitfähigkeit etc., den Nachteil, entweder nur einen qualitativen Aufschluß über die Durchblutung zweier vergleichbarer Gefäßbezirke zu geben, oder aber in quantitativer Hinsicht nur über kleine Gefäßareale. Daß mit der Venenstauungsplethysmographie keine getrennte Aufzeichnung von Haut- und Muskeldurchblutung erfolgen kann, darf im speziellen Fall außer Acht gelassen werden, da es sich, wie oben ausgeführt, bei der Hand in erster Linie um eine Hautdurchblutung handelt und außerdem die Muskeldurchblutung kaum auf Temperaturunterschiede reagiert.

In dieser Arbeit sollte nun untersucht werden, ob und in welcher Weise sich das Durchstromvolumen bei gesunden Versuchspersonen von dem Raynaud-Kranker unterscheidet. Wie aus Abbildung 6 hervorgeht, ging es dabei nicht so sehr um die Ermittlung einzelner Größen, sondern um die vergleichende Betrachtung der Durchblutung bei Kältekongestion, Ruhelage und Wärmedilatation.

Das Blutstromvolumen ist abhängig vom peripheren Widerstand, welchen der Organismus mit seinem dauernden Wechsel von Vasokonstriktion und -dilatation je nach Bedarf ändern kann. Der zwischen diesen Polen gelegene Bereich könnte als sog. Akkomodationsbreite des Organismus bezüglich der Durchblutung bezeichnet werden, mit anderen Worten, innerhalb maximaler Vasokonstriktion und dem daraus resultierenden minimalen Stromvolumen und maximaler Vasodilatation und dem sich daraus ergebenden größtmöglichen Blutstromvolumen liegen für den Organismus die Möglichkeiten einer Durchblutungsänderung.

Eine erforderliche Mehrdurchblutung der Hand beispielsweise wird also durch die Senkung des Gefäßwiderstandes i. e. Vasodilatation gewährleistet. Eine weitere, zur Aufklärung der Pathophysiologie des Raynaud-Syndroms notwendige Voraussetzung ist die Annahme, daß die oben genannte Akkomodationsbreite bei den Versuchspersonen in etwa gleich ist. Ob dies den Tatsachen entspricht, sollte im Verlauf der Versuche aufgezeigt werden und hat sich auch augenscheinlich bewahrheitet.

Handelt es sich nun beim Raynaud-Syndrom um eine organische Störung der Durchblutung infolge einer Stenose, so könnte man sich theoretisch zwei Möglichkeiten des Ruheblutstromvolumens vorstellen: einmal mit und einmal ohne Kompensation des Strombahnhindernisses, d. h. mit einer kompensatorischen Weiterstellung der Gefäße distal der Stenose und der daraus folgenden Herabsetzung des Gefäßwiderstandes käme der Organismus auf das gleiche Stromvolumen im erkrankten Gefäß wie im gesunden ohne Dilatation. Es ließe sich also beim Kranken im Vergleich zum Gesunden kein vermindertes Stromvolumen feststellen, die Wandveränderung bliebe latent. Ohne Kompensation, d. h. Weiterstellung der Gefäße und damit ohne Senkung des peripheren Widerstandes müßte sich das Strombahnhindernis auch schon bei einer indifferenten Temperatur von 32° in einem im Vergleich zum Gesunden verminderten Ruheblutstromvolumen zeigen.

Angenommen, die stenosierende Wandveränderung würde bei 32° kompensiert werden, d. h., wie tritt gar nicht als ein das Stromvolumen vermin- dernder Faktor in Erscheinung, so würde sie sich auf jeden Fall bei der vergleichenden Betrachtung der Stromvolumenwerte Gesunder und Kranker, bei Extrembedingungen, wie maximaler Vasokonstriktion bzw. -dilatation deutlich zeigen. Und zwar müßte sich beim Kranken eine geringere Stei-

gerung des Stromvolumens bei Wärmeeinwirkung = maximale Vasodilatation als beim Gesunden ergaben, da ja schon zur Kompensation des Strombahnhindernisses bei 32° ein Teil des Dilatationsvermögens und der damit erreichten Senkung des peripheren Widerstandes benötigt wurde. Bei maximaler Vasokonstriktion bei Kälteeinwirkung wäre eine Manifestation des Strombahnhindernisses in einem im Vergleich zum Gesunden verminderten Stromvolumen zu erwarten, da der starke Kältereiz eo ipso eine maximale Gefäßverengung zur Folge hat, und damit zur Kompensation keine Möglichkeit mehr bleibt.

Handelt es sich beim Raynaud-Syndrom um eine organische Gefäßerkrankung, so müßten sich also folgende Meßergebnisse zeigen:

Ruheblutstromvolumen

Die organische Wandverengung ist entweder kompensiert, die Stromvolumina von Kranken und Gesunden sind in Ruhelage etwa gleich groß. Ist die Stenose nicht kompensiert, so liegt das Ruhestromvolumen des Kranken niedriger als das des Gesunden.

Die Hyperämie

Der absolute Hyperämiestromvolumenwert des Kranken liegt niedriger als beim Gesunden; die Steigerung von Ruhelage zu maximaler Hyperämie ist weniger stark ausgeprägt, da zum Ausgleich der Stenose bei 32° ein Teil der potentiellen Widerstandsherabsetzung benötigt wurde. Oder, falls die Stenose bei 32° nicht ausgeglichen wäre, würde sich diese bei 42° auch in einer Herabsetzung des Stromvolumens bemerkbar machen.

Die Ischämie

Das Stromvolumen des Kranken liegt niedriger als das des Gesunden, da infolge des starken Kältereizes kein Ausgleich des Strombahnhindernisses möglich ist.

Handelt es sich aber, wie die meisten Autoren behaupten, und wie auch Maurice Raynaud in seiner Arbeit vermutete, beim Raynaud-Syndrom um eine funktionelle Durchblutungsstörung, eine anfallsweise Minderdurchblutung auf Grund eines erhöhten Sympathikotonus, so wären folgende Versuchsergebnisse zu erwarten:

Ruheblutstromvolumen: Die Werte liegen beim Gesunden und beim Kranken auf gleichem Niveau oder sind evtl. beim Kranken etwas geringer, da der Tonus seiner Gefäße schon unter Normalbedingungen (32°) etwas gesteigert ist.

Die Hyperämie: Die Stromvolumenwerte sind beim Gesunden und Kranken gleich hoch, da infolge der starken Wärmeeinwirkung der Sympathikotonus in beiden Fällen wegfällt.

Die Ischämie: Das Stromvolumen des Kranken liegt niedriger als das des Gesunden, da die Ansprechbarkeit auf sympathikotrope Reize (Kälte) beim Kranken stärker ausgeprägt ist als beim Gesunden.

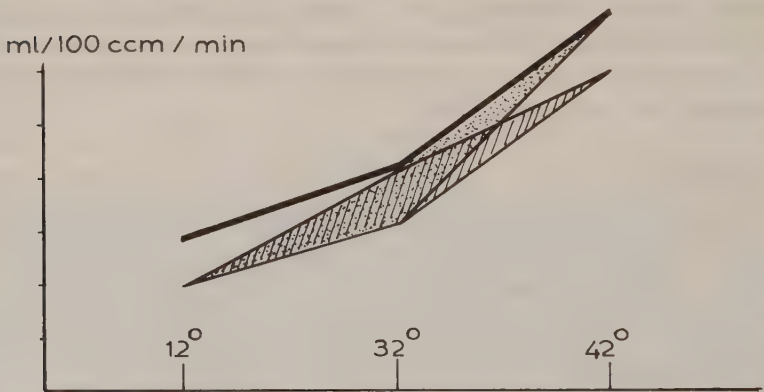


Abbildung 6: Die Stromvolumenwerte bei 12, 32 und 42 Grad.
Schwarz beim Gesunden, schraffiert: organische Störung,
gepunktet: funktionelle Störung

I. DAS BLUTSTROMVOLUMEN

bei 12, 32 und 42 Grad

Einwirkungsdauer der Temperaturen jeweils 3 Minuten

Gestattete diese Versuchsreihe infolge der relativ kurzen Beobachtungsdauer der einzelnen Temperatureinwirkungen nur einen begrenzten Vergleich zwischen Gesunden und Raynaud-Kranken, so wurde doch ein für die weiteren Überlegungen wichtiges Phänomen deutlich: Die Durchblutungsverhältnisse sind bei Männern und Frauen nicht die gleichen, sondern weisen charakteristische Unterschiede auf. Das zeigt sich schon unter Normalbedingungen, wie sie eine Temperatur von 32° darstellt, weswegen das Stromvolumen bei dieser Temperatur auch das Ruhestromvolumen genannt wurde. Dabei ergaben sich bei Männern etwa doppelt so hohe Werte (+ 95 %) wie bei Frauen. Bei 42° lag es immer noch um die Hälfte (+ 50 %) höher und bei 12° wieder um ca. das Doppelte (+ 110 %). Zusammenfassend kann man also auf Grund der Versuche feststellen:

Das Stromvolumen männlicher Versuchspersonen lag bei etwa drei Minuten lang wirksamen Temperaturen von 12, 32 und 42 Grad um etwa 50 bis 110 % höher als die Vergleichswerte der Frauen.

Weiterhin zeigt die vergleichende Betrachtung der Einzelwerte männlicher Versuchspersonen, daß kaum von einem einheitlichen, männlichen Typ hinsichtlich Durchblutung gesprochen werden kann. Denn bei sämtlichen Versuchstemperaturen war eine Gruppe mit niedrigem und eine mit relativ hohem Stromvolumen zu beobachten. Das eine Mal wurden Werte zwischen etwa 1 ml (minimal) und 8 ml (maximal) gemessen, das andere Mal zwischen 5 ml und 24,5 ml. Konnte man auch nicht grundsätzlich schon aus den Ruhewerten auf die Werte bei 42 und 12 Grad schließen, so war die Erwartung, daß ein hohes Ruhevolumen ein hohes Hyperämie- und Ischämievolumen nach sich ziehen würde - und umgekehrt - doch in den meisten Fällen gerechtfertigt.

Diese Beobachtungen waren zwar bei Frauen nicht so deutlich zu machen, sieht man von der schon weiter vorne angeführten Versuchsperson Nr. 22 (Tabelle 1) ab. Bei der zweiten Versuchsreihe über 30 Minuten waren aber auch bei Frauen zwei Typen zu unterscheiden.

Da sich die Stromvolumina von Männern und Frauen in der oben angeführten Weise unterscheiden, durften die Kranken, bei denen es sich ausschließlich um Frauen handelte, wiederum nur mit weiblichen Gesunden verglichen werden. Das Ruhevolumen mit 1,7 ml bei den Gesunden und 1,8 ml bei den Kranken liegt praktisch auf gleicher Höhe und läßt nur den Schluß zu, daß eine bei Raynaud-Patienten evtl. bestehende Gefäßstenose bei indifferenten Temperaturen durch Herabsetzung des peripheren Widerstandes distal des Strombagnhindernisses ausgeglichen würde bzw. im anderen Fall keine erhöhte Ansprechbarkeit der Gefäßnerven auf indifferente Temperaturen festzustellen wäre.

II. DAS BLUTSTROMVOLUMEN

bei 12, 32 und 42 Grad

Einwirkungsdauer der Temperaturen jeweils 30 Minuten

1. Der schon in der kurzen Meßreihe (3 Minuten) ersichtliche Unterschied zwischen Männern und Frauen war auch hier wieder zu beobachten, und zwar lagen die Werte der männlichen Versuchspersonen wieder um durchschnittlich 43 % höher als die mit 100 % zugrunde liegenden Vergleichswerte der weiblichen. Die einzelnen Werte sind aus Tabelle 5 zu ersehen.

Tabelle 5: Das Stromvolumen männlicher Versuchspersonen im Vergleich zu den weiblichen. Die Prozentangaben zeigen, um wieviel Prozent das Stromvolumen der Männer über dem der Frauen (jeweils 100 %) liegt.

Temperatur	zu Beginn	nach 10 Min.	nach 30 Min.
32°	+ 20 %	gleich	+ 80 %
42°	+ 52 %	+ 51 %	+ 39 %
12°	+ 44 %	+ 82 %	+ 22 %

2. Das Stromvolumen im Verlauf der 30 Minuten anhaltenden Temperatureinwirkung

a) 32 Grad

Hier war sowohl bei Frauen als auch bei Männern ein allmähliches Absinken der Durchblutung zu beobachten. Damit wurde die Vermutung gerechtfertigt, daß sich das Stromvolumen nicht sofort auf einen Ruhewert einstellt, sondern daß zu Beginn der Messung exogene Faktoren wirksam waren, welche durchblutungssteigernd wirkten. Erst nachdem diese Faktoren im Laufe der Messung wegfielen, nachdem sich vor allem die Versuchsperson an die Vorgänge gewöhnt hatte und damit beruhigt war, konnte von einem Ruhestromvolumen gesprochen werden.

Man könnte dagegen einwenden, daß die Werte der ersten Meßreihe bei 32° tiefer und nicht, wie erwartet, höher liegen als wenigstens zu Beginn der zweiten. Diese Tatsache spricht jedoch unseres Erachtens nicht gegen die in der Meßreihe über 30 Minuten gemachten Erfahrungen, sondern ist eher dadurch zu erklären, daß es sich bei den über 30 Minuten hin getesteten Versuchspersonen mehr um solche gehandelt hat, deren Durchblutung dem Typ zuzurechnen ist, der sich durch ein verhältnismäßig hohes Stromvolumen auszeichnet, während in der "kurzen" Meßreihe über 3 Min. vor allem unter den Frauen vorwiegend Fälle des schwächeren Typs zu beobachten waren.

Bei den Raynaud-Kranken zeigte sich ein deutlich gegensinniges Verhalten: Diese Gruppe steigerte nämlich im Laufe der 30 Minuten das Stromvolumen um etwa 44 %, wenn man den Ausgangswert mit 100 % ansetzt. Dieses Phänomen erscheint für die Beurteilung der Pathophysiologie des Raynaud-Syndroms wichtig, weist es doch schon auf einen bei Kranken etwas stärkeren Sympathikotonus hin, der im Verlauf des Versuches allmählich nachläßt.

b) 42 Grad

Unter Wärmeeinwirkung war in allen Fällen eine deutliche Steigerung des Stromvolumens gegenüber 32° festzustellen. Auch im Verlauf des Versuches selbst war grundsätzlich ein Anstieg zu sehen, wobei dieser bei 50 % (2 Fälle) der Männer und ca. 72 % (5 Fälle) der gesunden Frauen kontinuierlich verlief, während bei 50 % der Männer, 28 % (2 Fälle) der ge-

sunden Frauen und bemerkenswerterweise bei 75 % (3 Fälle) der Raynaud-Patienten nach einer Steigerung zu Beginn ein leichtes Absinken nach 10 Minuten und sodann erst der endgültige Anstieg registriert wurde.

Auf den zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen bestehenden Unterschied in der Höhe des Stromvolumens sei an dieser Stelle noch einmal hingewiesen.

Zwischen gesunden und gefäßgestörten weiblichen Versuchspersonen war bei maximaler Hyperämie keine Differenz in der Höhe des Stromvolumens zu erkennen. Da auch in der Steigerung des Durchblutungsvolumens von Ruhelage auf Hyperämie kein Unterschied zwischen Gesunden und Kranken besteht, darf angenommen werden, daß eine u. U. vorhandene Stenose bei 32° nicht kompensiert worden war, was sich in einer geringeren Steigerung des Stromvolumens von 32 auf 42° gezeigt hätte. Da aber auch in Ruhelage das Durchstromvolumen der Kranken gleiche Werte wie das der Gesunden aufweist, ergibt sich kein Hinweis für das Bestehen eines Strombahnhindernisses überhaupt.

c) 12 Grad

Erbrachte die Wärmeeinwirkung eine deutliche Durchblutungssteigerung, so reagierten die Versuchspersonen auf den starken Kältereiz mit einer Herabsetzung des Stromvolumens. Bemerkenswerterweise war jedoch nicht ein sofortiges, starkes Abfallen der Stromwerte zu beobachten, sondern die Anfangswerte liegen vor allem bei den Männern noch verhältnismäßig hoch, in manchen Fällen sogar noch über dem Ruheblutstromvolumen. Diese Erscheinung ist jedoch darauf zurückzuführen, daß der Ischämiebestimmung das lange Verweilen in 42° vorausging. So war auch hier, wie in den anderen oben angeführten Fällen, die allmähliche Adaptation der Gefäße an die jeweilige Temperatur zu erkennen.

Die Durchblutung nahm im weiteren Verlauf der Messung in allen Fällen ab. Es zeigte sich jedoch bei Gesunden zwischen Männern und Frauen ein deutlicher Unterschied darin, daß diese Abnahme bei männlichen Versuchspersonen kontinuierlich verlief, während bei den weiblichen das Stromvolumenminimum schon nach 10 Minuten zu sehen war, und nach 30 Minuten die Werte fast ausnahmslos über den nach 10 Minuten gefundenen lagen. Ob man nach diesen Beobachtungen generell von einer unterschiedlichen Reaktionsweise der Frauen gegenüber den Männern sprechen kann,

erscheint fraglich. Es wäre zu überlegen, ob es sich bei dem über dem Minimum nach 10 Minuten liegenden Endwert nicht um die Folge einer durch die Kälte hervorgerufenen Lähmung der Gefäßmuskulatur handelt, wie sie auch schon von anderen Autoren beschrieben wurde. Eine weitere Möglichkeit, dieses Phänomen zu erklären, wäre die Überlegung, daß die Kälte anfangs, zumal nach vorherigem Verweilen in 42° , einen stärkeren Reiz auf die Vasokonstriktoren ausübt als im weiteren Verlauf des Versuches und daß aus diesem Grunde zu Beginn der Messung eine gleichsam über das Ziel hinausschießende Vasokonstriktion hervorgerufen wird, bis sich dann allmählich wieder ein normaler Gleichgewichtszustand einstellt. Auffälligerweise konnten wir die eben beschriebene Beobachtung bei Raynaud-Kranken nicht machen, was zum einen für die Richtigkeit der letzten Erklärung spricht, und zum anderen wiederum auf eine erhöhte Ansprechbarkeit der Gefäßnerven des Kranken hinweist. Denn es besteht kein Grund, warum die zuerst erwogene Gefäßlähmung bei Raynaud-Kranken nicht auftreten sollte, sie wurde jedoch in keinem Fall beobachtet. Viel eher ist anzunehmen, daß die Kälte auch im weiteren Verlauf des Versuches für den Kranken einen stärkeren Reiz darstellt als für den Gesunden und daher das Einpendeln in den oben beschriebenen Gleichgewichtszustand im pathologischen Fall nicht möglich ist.

Diese Annahme bestätigt auch ein weiterer Unterschied zwischen Gesunden und Kranken: Das durchschnittliche Stromvolumenminimum gesunder Frauen liegt nämlich mit 2,3 ml um etwa 77 % über dem der pathologischen Fälle mit 1,3 ml. Es sei nicht verschwiegen, daß das Minimum gesunder Frauen in der "kurzen" Meßreihe bei 0,9 ml liegt und dieser Befund genau das Gegenteil des eben Gesagten bedeutet. Doch unseres Erachtens widerspricht dieser niedrige Wert nicht der Feststellung, daß die Raynaud-Kranken ein niedrigeres Stromvolumen bei 12° aufweisen als die Gesunden, sondern ist aus der unterschiedlichen Versuchsdurchführung zu erklären: Es erscheint wahrscheinlich, daß die starke Durchwärmung über 30 Minuten in Wasser von 42° , die der Ischämiebestimmung vorausging, in der "langen" Meßreihe kein so minimales Stromvolumen bei 12° zuläßt wie es in der "kurzen" Meßreihe der Fall ist, wo die Hand vor der Registrierung des Kältestromvolumens nur drei Minuten lang in heißem Wasser verweilte. Dafür spricht auch die praktische Erfahrung, daß Durchblutungs-gestörte wesentlich weniger Beschwerden haben, wenn sie die erkrankte Extremität gut aufgewärmt haben, bevor sie mit niedrigen Temperaturen in Berührung kommen.

III. ZUSAMMENFASSENDE VERGLEICH

zwischen Gefäßgesunden und Raynaud-Kranken

Wie schon an mehreren Stellen hervorgehoben wurde, darf die Gruppe der Raynaud-Kranken, die ausschließlich aus Frauen besteht, auf Grund des prinzipiellen Unterschiedes zwischen Männern und Frauen wiederum nur mit gesunden weiblichen Testpersonen verglichen werden. Stellt man nun die pathologischen den Normalfällen gegenüber, so ergeben sich folgende Unterschiede:

<u>32 Grad,</u>	Gesunde:	Das Stromvolumen fällt allmählich auf einen Endwert von 2,3 ml.
	Kranke:	Das Stromvolumen steigt im Verlauf des Versuches von 1,8 ml auf den mit den Gesunden in etwa gleichen Wert 2,6 ml.
<u>42 Grad,</u>	Gesunde:	Der Anstieg verläuft zumeist kontinuierlich auf durchschnittlich 7,4 ml.
	Kranke:	Der Maximalwert liegt mit 8,5 ml etwas höher. Der Anstieg verläuft nicht kontinuierlich, sondern nach anfänglicher Steigerung des bei 32 Grad gefundenen Stromvolumens sinkt dieses wieder leicht ab, um erst nach etwa 10 bis 15 Minuten auf den Maximalwert zu steigen.
<u>12 Grad,</u>	Gesunde:	Deutliches, kontinuierliches Absinken, Minimalwert 2,3 ml.
	Kranke:	Ebenfalls deutliches Absinken, der Minimalwert liegt jedoch mit 1,3 ml eindeutig unter dem der Gesunden.

Läßt man bei 42 Grad den bei dieser Temperatur relativ geringfügigen Unterschied der Stromvolumina außer Acht, so sind es beim Kranken im wesentlichen das eindeutig geringere Stromvolumen bei 12 Grad und der Anstieg (statt Abfall) bei 32 Grad, die für eine funktionelle Störung beim Raynaud-Syndrom sprechen. Gegen die Annahme einer organischen Erkran-

kung spricht das mit den Gesunden gleichliegende Ruhestromvolumen und die ebenso kräftige, wenn nicht ausgeprägtere Steigerung des Stromvolumens aus der Ruhelage zur Hyperämie. Der Anstieg bei 32 Grad im Verlauf der 30 Minuten deutet beim Kranken auf einen stärkeren Sympathikotonus hin, der sich nach völliger Ruhigstellung, psychisch und physisch, löst und verringert.

Bei so hohen Temperaturen wie 42 Grad fällt dieser Tonus durch die intensive Wärmeeinwirkung letztlich weg, das Stromvolumen des Kranken liegt genau so hoch wie das des Gesunden.

Den eindeutigsten Hinweis auf das Vorliegen einer funktionellen Störung sehen wir in der Reaktion des Kranken auf Kälteeinwirkung. Das deutlich geringere Ischämievolumen des Kranken spricht für eine leichtere Ansprechbarkeit der Vasokonstriktoren bzw. die Kälte stellt für den Kranken einen stärkeren Reiz dar als für den Gesunden.

E. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Methode der Venenstauungsplethysmographie wurde das Stromvolumen der Hand bei Gefäßgesunden und Raynaud-Kranken untersucht. Dabei sollte die Reaktion der Durchblutung auf die Einwirkung von 12, 32 und 42 Grad festgestellt werden.

Die vergleichende Betrachtung der Meßwerte sollte Aufschluß über die Frage geben, ob es sich beim Raynaud-Syndrom um eine organische oder funktionelle Störung handelt.

Die Versuche zeigten folgendes:

1. Die Stromvolumina von Männern und Frauen unterscheiden sich schon bei Gesunden, und zwar in dem Sinne, daß die männlichen Versuchspersonen unter allen Bedingungen ein um etwa 50 bis 100 % höheres Durchstromvolumen aufweisen als die Frauen.
2. Das Stromvolumen bei 32 Grad beläuft sich bei Männern nach 30 Minuten langer Einwirkung der Temperatur auf etwa 4,1 ml, bei Frauen auf 2,3 ml und bei Kranken, ebenfalls Frauen, auf 2,6 ml. Bei Gesunden ist im Verlauf der 30 Minuten ein Abfallen des Stromvolumens auf die obengenannten Endwerte festzustellen, bei Kranken dagegen ein Anstieg.

3. Die Wärmeeinwirkung ruft bei Gesunden und Kranken eine deutliche Hyperämie hervor mit Werten von:

Gesunde:	10,3 ml/100 ccm Gewebe/min.	Männer
	7,4 ml/100 ccm Gewebe/min.	Frauen
Kranke:	8,5 ml/100 ccm Gewebe/min.	Frauen.

4. Auf Kälteeinwirkung reagieren sämtliche Versuchspersonen mit einem Absinken des Stromvolumens unter das Niveau von 32 Grad, und zwar:

Gesunde:	3,4 ml/100 ccm Gewebe/min.	Männer
	2,3 ml/100 ccm Gewebe/min.	Frauen
Kranke:	1,3 ml/100 ccm Gewebe/min.	Frauen.

Das gegensinnige Verhalten bei 32 Grad und das deutlich geringere Stromvolumen bei 12 Grad weisen auf eine funktionelle Störung beim Raynaud-Syndrom hin, die gleichgute Steigerung des Stromvolumens aus Ruhelage zur Hyperämie und das etwa gleichgroße Ruhestromvolumen sprechen gegen das Vorliegen einer organischen Störung.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Abercrombie, J.: "On some points in connection with Raynaud's disease"
Archives of Pediatrics, 1886, III,
567 - 573
2. Abramson, D. J.,
Zazeela, H., und
Marrus, J.: Amer. Heart J. 17, 194, 206 (1939)
3. Aschoff, J.: Die ob. Extr. im Dienste der physikalischen Wärmeregulation.
Pflüg. Arch. Physiol. 249
148 (1947), zit. nach Nr. 12
4. Brüning, F.: "Resektion des cervicalen Sympathikus"
Klin. Wschr. 1872 (1923)
5. Brüning, F. und
Stahl, O.: "Die Chirurgie des veg. Nervensystems"
Berlin 1924
6. Burton, A. C.: Amer. J. Physiol. 127, 437 (1944)
7. Dornhorst, A.C. und
Whelan, R.F.: Chir. Sc. (London) 12, 3 (1953),
zit. nach Nr. 12
8. Duffield, F.A. und
Harris, I.: J. Physiol. 81, 283 (1934)
9. Freemann, N.E.: Amer. J. Physiol. 113, 384 (1935)
10. Hamperl, H.: Lehrbuch der allg. Path. und der pathol.
Anatomie. 24./25. Aufl. 1960, Springer
Verl. Berlin, Göttingen, Heidelberg
11. Herzog, E.: "Beitrag zur normalen und pathologischen
Histologie des Sympathikus"
Z. Neurol. 103, 1 (1926)

12. Hess, H.: "Die obliterierenden Gefäßerkrankungen"
Urban und Schwarzenberg, München -
Berlin 1959
13. Holle, F. / Sonntag, E.: "Grundriß der gesamten Chirurgie"
7. Aufl. 1960, Springer Verlag Berlin,
Göttingen, Heidelberg
14. Leriche, R. und
Fontaine, R.: "Technique de l'ablation du ganglion
étoilé"
J. Chir. (Paris) 41, 353, 1933
15. Lewis, Th. und
Kendrew, E.N.: zit. bei Nr. 30
16. Lynn, R.B. und
Barcroft, H.: "Circulatory changes in the foot after
lumbar sympathectomy"
Lancet 1105 (1950), zit. nach Nr. 12
17. Monro, Th. K.: "Raynaud's disease"
James MacLehose and Sons, Glasgow, 1899
18. Muralt, A.V.: Praktische Physiologie, 3. Aufl.,
Springer Verlag, 1942
19. Ostertag: "Über das Altern am Nervensystem mit
Berücksichtigung der Regeneration und
Trophik"
46. Tg. Dtsch. Orth. Ges. Tübingen, 1958
20. Raynaud, M.: "De l'asphyxie locale et de la gangrène
symétrique des extrémités"
zit. bei Nr. 17
21. Rein, H.: "Vasomotorische Regulationen"
Erg. Physiol. 32, 28 (1931), zit. nach
Nr. 12
22. Rothlin, E. und
Bluntschli, H.J.: "Plethysmographische Untersuchungen"
Helv. Physiol. Acta 2, 149 - 168 (1944)

23. Rothlin, E.,
Bluntschli, H.J. und
Cerletti, A.: "Plethysmographische Untersuchungen"
Helv. Physiol. Acta 3, 373 - 389
(1945)
24. Schoop, W.: Angiologie-Fibel 1964, Georg Thieme
Verlag, Stuttgart
25. Schoop, W. und
Marx, H.: "Der Einfluß nervaler vasokonstrikti-
scher Reize und arterieller Durchblutungs-
änderungen auf die Ruhedurchblutung des
Skelettmuskels"
Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.-Forsch. 1956,
zit. nach Nr. 12
26. Spealman, C.R.: Amer. J. Physiol. 145, 218 (1945)
27. Sunder-Plassmann, P.: "Kritische Bewertung histol. Untersuchungs-
ergebnisse von resezierten Grenzstrangganglien"
Arch. klin. Chir. 186, 57 (1956)
28. Weese, K.: Zbl. Chir. 82, 286 (1957)
29. Wolf, J.: Einführung in die Innere Medizin,
7. Aufl. 1959, Georg Thieme Verl.,
Stuttgart
30. v. Zarday, J. und
v. Razgha, A.: Z. exper. Med. 77, 124 (1931)
31. v. Zarday, J. und
v. Zilahi, N.: Z. exper. Med. 77, 529 (1931)

Herrn Professor Dr. Hans Hess bin ich zu ganz besonderem Dank verpflichtet für die Überlassung des Themas sowie für die Anregung und Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und bei der Darstellung der Ergebnisse.

Dem Direktor der Poliklinik der Universität München, Herrn Professor Dr. Walter Seitz, danke ich aufrichtig dafür, daß ich die Untersuchungen an seiner Klinik durchführen konnte.

LEBENS LAUF

Am 6. 10. 1939 bin ich, Peter Osthoff, in München geboren. Ich besuchte da die Volksschule bis zur 4. Klasse und setzte meine Ausbildung 1949 am Wittelsbacher Gymnasium in München und ab 1952 am Humanistischen Gymnasium in Windsbach (Mfr.) fort. Dort legte ich 1958 die Reifeprüfung mit Erfolg ab. =

1958 begann ich das Studium der Medizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München und bestand dort 1961 das Physikum. 1965 legte ich das Staatsexamen ebenfalls in München ab.

Von Juli 1963 bis August 1964 arbeitete ich an der Poliklinik der Universität München am experimentellen Teil der vorliegenden Dissertations-Arbeit, 1965 widmete ich mich ihrem Abschluß.

